ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ СССР

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ УРАНА И ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО)

«НЕДРА» · 1964

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ СССР

Глубокоуважаемому
Фаминому Яковлевичу
от авторов
Жабрев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ УРАНА И ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(Методическое руководство)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
МОСКВА 1964

УДК 553.495 : 552.142

Составлено *А. Д. Каблуковым, Н. Н. Сочевановым, Э. Н. Барановым, А. Н. Боголюбовым, Г. И. Вертеповым, С. В. Григоряном, Е. А. Майоровой, Н. К. Разумовским, В. Н. Тулиным, Е. М. Янишевским*

Под редакцией *А. П. Соловова*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Около 30 лет тому назад Н. И. Сафронов ввел понятия об ореолах рассеяния месторождений полезных ископаемых, которое оказалось чрезвычайно плодотворным для практики геологопоисковых работ и с каждым годом приобретает все более широкое значение. На основе представлений об ореолах и потоках рассеяния месторождений в СССР были созданы и продолжают успешно развиваться современные геохимические методы поисков. В свете этих представлений старые геологопоисковые методы — обломочно-речной, шлиховой и валунно-ледниковый — получили новое, более полное истолкование.

Обобщение понятий о процессах рассеяния позволяет более углубленно рассмотреть геологические основы некоторых геофизических методов поисков, связанных с изучением естественных электрических, тепловых и радиоактивных полей. Анализ результатов воздушных и наземных радиометрических съемок показывает, что абсолютное большинство месторождений открытых этими методами, обязано обнаружению вторичных механических, солевых и газовых ореолов рассеяния месторождений радиоактивных руд.

До недавнего времени геохимические методы поисков применялись главным образом в форме широко известных металлометрических съемок, которые использовались для обнаружения с поверхности вторичных ореолов и потоков рассеяния месторождений основных ценных элементов полезных ископаемых. Высокая геологическая эффективность этих работ не требует доказательств и подтверждена открытием ряда промышленных месторождений цветных и редких металлов и золота в различных районах СССР и за рубежом. Значительно позднее стали развиваться геохимические методы поисков по элементам-спутникам основного элемента, а также методы поисков скрытых и погребенных месторождений. Накопленный к настоящему времени опыт убедительно показывает, что в этой области существуют обширные возможности для чрезвычайно эффективного применения геохимических методов.

Во многих районах доказана, например, целесообразность поисков месторождений золота по ореолам рассеяния мышьяка и меди, месторождений свинцово-цинковых руд по ореолам рассеяния ртути и месторождений редких и рассеянных элементов по ореолам рассеяния лития. Возможность обнаружения в благоприятной геологической обстановке скрытых рудных тел, залегающих на глубине до 300—400 *м* от поверхности, по их первичным ореолам, в первую очередь по легкоподвижным элементам-спутникам (As, Hg, Tl, J, F, B Li и др.), не только доказана многочисленными экспериментами, но и подкреплена промышленными открытиями.

Существенно расширились возможности обнаружения трудноотрываемых месторождений на закрытых территориях с переходом к их поискам по погребенным вторичным ореолам рассеяния. Все эти новые области приложения геохимических методов исследования несомненно должны найти и уже находят применение при поисках месторождений урановых руд.

В данном методическом руководстве описано применение геохимических методов при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений. Оно подводит первые итоги исследованиям большого коллектива авторов за несколько лет.

Под геохимическими методами поисков в данном случае понимаются литохимические (металлометрические) исследования, выполняемые путем анализа горных пород на уран и его элементы-спутники. К числу геохимических методов правильнее было бы относить любые радиометрические съемки, изучающие распределение радия и других радиоактивных элементов, которые традиционно причисляются к геофизическим методам поисков. Несомненно, что по мере создания новых геофизических приборов, подобных существующим радиометрам для раздельного определения радиоактивных элементов, бериллометрам, борометрам и другим, которые обеспечивают прямое определение содержаний химических элементов в точках наблюдения, роль геохимических методов поисков еще более возрастет.

Опыт производственного применения литохимических методов при поисках месторождений урана еще недостаточен. Однако имеющиеся данные свидетельствуют о целесообразности привлечения специальных геохимических исследований к решению многих поисково-разведочных задач.

Следует считать доказанным, что в горных породах, вмещающих эндогенное урановое оруденение, развиваются широкие первичные ореолы урана и типоморфных элементов-спутников (свинца, молибдена и др.). Эти ореолы, как правило, обладают зональным строением. Над скрытыми рудными телами, у которых первичные ореолы выведены на уровень денудационной поверхности, в благоприятных условиях образуются вторичные ореолы и потоки рассеяния за счет разрушения первичных ореолов. Поэтому геохимические исследования целесообразно начинать уже на стадии мелкомасштабных работ путем поисков потоков рассеяния урана и его элементов-спутников в аллювиально-пролювиальных отложениях гидросети. При более детальных работах исследования должны ориентироваться на поиски вторичных ореолов рассеяния в современном элювио-делювии или древней коре выветривания. Более трудоемкие поиски по первичным ореолам в коренных породах целесообразны на позднем этапе — при оценке выявленных вторичных ореолов и на флангах разведываемых и эксплуатируемых месторождений.

Помимо содействия решению основной поисковой задачи по выявлению новых рудных тел, геохимические исследования имеют большое значение при оценке радиометрических аномалий. Наличие на участке гамма-аномалий высоких концентраций элементов-спутников урана при прочих равных условиях повышает их оценку и уточняет генетический тип оруденения. В ряде случаев отсутствие повышенных концентраций элементов-спутников позволяет уверенно распознавать непромышленные вторичные аккумуляции урана. Наконец, в хорошо изученных рудных районах и в пределах конкретных рудных полей обнаружение первичных ореолов только элементов-спутников при

наличии других благоприятных геологических признаков может рассматриваться как основание для проведения поискового бурения с целью обнаружения скрытых гидротермальных урановых рудных тел на глубине.

В то же время установленные авторами методического руководства закономерности развития ореолов рассеяния урана и его элементов-спутников не следует воспринимать догматически. Совершенно очевидно, что для различных геологических условий будут еще обнаружены существенно иные геохимические связи между элементами, а круг элементов-индикаторов значительно расширится. Было бы глубоко ошибочным ожидать, например, для каждого свинцового или молибденового ореола рассеяния или рудопроявления наличие урановых руд на глубине. Поэтому только творческое, нешаблонное применение геохимических методов в тесном сочетании с геологическими и геофизическими исследованиями может обеспечить успех поисков.

Уточнение многих вопросов, связанных с ролью элементов-спутников при поисках и разведке урановых месторождений различного генезиса, должно явиться результатом коллективного опыта ближайших лет. Однако уже сейчас можно не сомневаться, что развитие целенаправленных геохимических исследований при поисках и разведке этих месторождений будет содействовать повышению геологической эффективности работ и скорейшему решению задач по приросту запасов урана.

ВВЕДЕНИЕ

Поиски урановых месторождений обычно осуществляются с помощью радиометрических методов. Применяемые при этом радиометрические приборы позволяют обнаруживать на поверхности даже незначительную гамма-активность и выделять гамма-аномалии. Однако оценка выявленных гамма-аномалий и рудопроявлений урана в большинстве случаев представляет значительные трудности. Как показывают результаты проверки разведочными выработками наиболее перспективных гамма-аномалий и рудопроявлений, далеко не все из них обусловлены промышленными скоплениями урановых руд. В связи с этим весьма важной является разработка таких методов, которые позволили бы оценивать перспективность выявленных гамма-аномалий, а среди урановых рудопроявлений выделять такие, которые могут иметь промышленное значение.

Как следует из материалов методических исследований и последующей опытно-производственной проверки, к числу таких методов относятся геохимические методы, с помощью которых выявляются ореолы химических элементов, имеющие в ряде случаев решающую роль при оценке перспективности выявленных гамма-аномалий и урановых рудопроявлений.

Ореолы и потоки рассеяния урана и сопутствующих ему элементов являются также важными геохимическими признаками при оценке площадей и участков в отношении возможности обнаружения в их пределах гидротермальных урановых месторождений и рудных тел, не имеющих выхода на дневную поверхность.

В настоящем руководстве рассматриваются только литохимические (металлометрические) методы поисков, так как другим геохимическим методам — гидрогеохимическому и биогеохимическому — посвящены достаточно подробные руководства и инструкции.

Месторождения и рудные тела, не имеющие выхода на дневную поверхность, согласно принятой на совещании членов Совета экономической взаимопомощи в Праге в 1960 г. терминологии, подразделяются на скрытые, погребенные и скрыто-погребенные (Хрущов, 1961). При этом с к р ы т ы м и называются месторождения или рудные тела, заключенные в толще вмещающих пород и не обнаженные эрозионным срезом. Месторождения, обнажившиеся древним эрозионным срезом, но погребенные под более молодыми геологическими образованиями, относятся к п о г р е б е н н ы м, а месторождения, расположенные ниже древней эрозионной поверхности, при перекрытии последней более молодыми геологическими образованиями — к с к р ы т о - п о г р е б е н н ы м.

Среди скрытых месторождений и рудных тел для поисков по ореолам рассеяния химических элементов наиболее благоприятны такие, первичные ореолы которых вскрыты эрозией и перекрыты чехлом современных эллювиально-делювиальных отложений небольшой мощности. Выявление ореолов рассеяния элементов над месторождениями, погребенными под покровом дальнеприносных отложений значительной мощности (десятки и более

метров), представляет большие трудности и требует применения специальных технических средств для углубления в толщу перекрывающих пород.

Ореолы и потоки рассеяния урана и сопутствующих ему элементов в коренных породах и рыхлых отложениях могут быть использованы как важные геохимические признаки при решении следующих задач:

а) выделение в районе поисков площадей, перспективных для обнаружения скрытых и слабоэродированных гидротермальных урановых месторождений;

б) оценка перспектив рудоносности выявленных радиометрических аномалий и урановых рудопроявлений;

в) поиски новых скрытых рудных тел на флангах урановых месторождений и на разведуемых рудопроявлениях и оценка перспектив рудоносности их глубоких горизонтов.

За последние годы в ряде районов был выполнен значительный объем разведочных работ на перспективных участках, выделенных по совокупности благоприятных признаков, в том числе и по наличию ореолов рассеяния урана и его элементов-спутников. Во многих случаях при оценке перспективности этих участков решающую роль играли данные об ореолах рассеяния элементов-спутников, особенно тогда, когда по гамма-аномалиям и геологическим признакам выделенные участки не отличались от многих других.

В результате проведенных работ на ряде разведочных участков с ранее выявленными гамма-аномалиями были обнаружены скрытые урановые рудные тела, залегающие на глубинах от 40—80 до 150 *м*, а в одном случае даже до 270 *м* от поверхности. Таким образом, эффективность геохимических методов подтверждена практикой поисково-разведочных работ.

Однако не всегда при проверке геохимических аномалий разведочными выработками обнаруживались промышленные рудные тела. В некоторых случаях была установлена лишь не представляющая практического интереса урановая минерализация, в других — в пределах участков с интенсивными ореолами рассеяния урана и сопутствующих ему элементов — обнаружены полиметаллические рудные тела с наложенной непромышленной урановой минерализацией. Эти примеры ошибочной оценки перспективности отдельных участков в отношении урановых руд по ореолам рассеяния доказывают необходимость использования геохимических методов в комплексе с другими методами и прежде всего с геологическими. Так же как далеко не каждое рудопроявление в результате проведения разведочных работ становится промышленным месторождением, так и не каждой геохимической аномалии соответствует на глубине урановое рудное тело.

Ряд задач и вопросов по разрабатываемому направлению еще не решен, по некоторым из них только наметились пути решения. Однако уже сейчас возникла необходимость обобщения материалов, накопленных при проведении опытно-методических исследований в ряде районов, и опыта применения геохимических методов в практике поисково-разведочных работ.

Цель настоящего методического руководства состоит в том, чтобы:

а) описать закономерности распределения урана и сопутствующих ему элементов в коренных породах вокруг гидротермальных урановых рудных тел и в рыхлых отложениях над ними, лежащие в основе применения геохимических методов при поисках и разведке урановых месторождений;

б) показать возможности, роль и место геохимических методов при решении указанных выше задач;

в) описать приемы работ по выявлению первичных и вторичных ореолов рассеяния урана и его элементов-спутников.

В составлении руководства принимали участие А. Н. Боголюбов, Э. Н. Баранов, Г. И. Вертепов, С. В. Григорян, А. Д. Каблуков, Е. А. Майорова, Н. К. Разумовский, Н. Н. Сочеванов, В. Н. Тулин, Е. М. Янишевский. Конкретно написание глав и разделов указано в оглавлении.

В Методическом руководстве, кроме материалов авторов, также использованы данные А. Г. Ветрова, Н. А. Ворошилова, В. С. Голиусова, О. Д. Гор-

бунова, М. Я. Дара, В. М. Константинова, М. В. Кутенкова, Л. Т. Мишина, Е. А. Сизова и др. Основная часть спектральных и люминесцентных анализов геохимических проб (более 50 000) выполнена Л. Ф. Давыдовой, Ю. Т. Донцом, Б. М. Елоевым, Э. В. Мозолевской и Р. В. Тимофеевой.

Настоящая работа является одной из первых попыток обобщить имеющиеся данные по ореолам рассеяния урана и сопутствующих ему элементов вокруг урановых рудных тел как основы применения геохимических методов при поисках урановых месторождений, и авторы сознают, что она не лишена недостатков. В связи с этим мы обращаемся ко всем специалистам, занимающимся решением данной проблемы, с просьбой высказать свои замечания и пожелания.

ГЛАВА I

РУДНЫЕ ТЕЛА И ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

I. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УРАНОВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

Применение геохимических методов поисков предполагает знание химического состава руд. Как показали проведенные исследования, элементный состав первичных ореолов, развивающихся вокруг рудных тел, совпадает с элементным составом последних, поэтому знание химического состава руд позволяет судить об элементном составе первичных ореолов. Наиболее представительной пробой, которая может характеризовать химический состав рудных тел, является технологическая проба, отбираемая на каждом месторождении, данные анализа которой обязательны при подсчете запасов для характеристики наличия вредных и полезных примесей в руде.

Вес технологической пробы колеблется от нескольких тонн до 10—15 *m* и более. Она отбирается из подземных выработок и характеризует типичные для данного месторождения руды. Проба подвергается полному силикатному, химическому и спектральному анализам. Для сравнения элементного состава рудных тел постмагматических месторождений различных типов нами были собраны данные анализов технологических проб со 100 месторождений Советского Союза. В их число вошли несколько гидротермальных урановых месторождений, расположенных в различных регионах, 22 полиметаллических месторождения, а также ряд медно-молибденовых, молибдено-вольфрамовых, медно-висмутовых, сульфидно-касситеритовых, никель-кобальтовых, золотых и сурьмяно-ртутных месторождений.

Сравнение данных по большому количеству месторождений позволяет установить черты сходства и различия в химическом составе руд месторождений различных типов и выявить особенности, характерные только для урановых месторождений. Для удобства сравнения и графического изображения содержания элементов, выраженные в весовых процентах, были переведены в коэффициенты концентрации, предложенные А. Е. Ферсманом (1934) *. Кларки основных рудных элементов приведены в табл. 1.

Согласно классификации А. Е. Ферсмана (1934), все перечисленные в табл. 1 элементы являются главными в постмагматическом процессе. В этот список не вошли железо, уран, фтор и селен. Железо не рассматривается из-за его очень высокого и резко переменного содержания во вмещающих породах различных месторождений. Уран анализировался только в пробах из урановых месторождений. По фтору и селену есть только единичные анализы технологических проб. Перевод весовых содержаний элементов,

---

* Коэффициент концентрации — это отношение среднего содержания элемента в руде к кларку его в земной коре.

Таблица 1

Кларки рудных элементов литосферы (две части кислых пород + одна часть основных пород) в весовых процентах

(по А. П. Виноградову, 1962)

Элемент	Кларк	Элемент	Кларк	Элемент	Кларк
Сера	$4{,}7 \cdot 10^{-2}$	Свинец	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	Висмут	$9 \cdot 10^{-7}$
Медь	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	Мышьяк . . .	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	Серебро	$7 \cdot 10^{-6}$
Никель	$5{,}8 \cdot 10^{-3}$	Молибден . . .	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	Индий	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$
Цинк	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	Вольфрам . . .	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	Ртуть	$2{,}3 \cdot 10^{-6}$
Олово	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	Кадмий	$7 \cdot 10^{-6}$	Теллур	$1 \cdot 10^{-7}$
Кобальт . . .	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	Сурьма	$5 \cdot 10^{-5}$	Золото	$4{,}3 \cdot 10^{-7}$

выраженных в процентах, в коэффициенты концентрации * позволил принять для всех элементов одни и те же интервалы значений этих коэффициентов путем разделения их на шесть групп — менее 1, от 1 до 3, от 3 до 10, от 10 до 30, от 30 до 100 и более 100.

Характеристика вещественного состава месторождений, отражающая совокупность элементов, присутствующих в рудах месторождения, составляет его г е о х и м и ч е с к и й с п е к т р.

Под геохимическим спектром месторождения нами понимается характеристика вещественного состава руд, выраженная в единицах концентрации элементов и упорядоченная в соответствии с убыванием их кларков. Объединение геохимических спектров по нескольким месторождениям одной формации (золотых, урановых и др.) дает возможность получить групповой спектр данной формации. На рис. 1 приведены групповые геохимические спектры для восьми различных рудных формаций. По ординатам спектров показано отношение процента месторождений к их общему числу в группе.

В соответствии с терминологией А. Е. Ферсмана элементы, образующие концентрации в 100 кларков и более в большинстве месторождений данной формации, далее называются в е д у щ и м и. Элементы, также широко распространенные, но образующие в данной группе месторождений концентрации от 10 до 100 кларков, могут быть названы х а р а к т е р н ы м и. Элементы, отмечающиеся в повышенных (более 10) или высоких (более 100 кларков) концентрациях, но на небольшом числе месторождений данной группы, могут рассматриваться как н е т и п и ч н ы е. Они, возможно, связаны с многостадийностью процесса рудообразования. К таким элементам, по-видимому, следует отнести вольфрам, установленный только в одной пробе из всех рассмотренных проб с урановых месторождений. Кадмий отмечен также только в одной технологической пробе, имеющей очень высокое содержание цинка.

Рассмотрение отдельных геохимических спектров по месторождениям и групповых спектров по рудным формациям (см. рис. 1) позволяет сделать следующие выводы:

1. Из всех 100 рассмотренных месторождений нет ни одного, которое являлось бы моноэлементным. Наряду с основным рудным элементом, составляющим главную экономическую ценность месторождения, коэффициент концентрации которого колеблется от многих сотен до тысяч, всегда отмечается присутствие ведущих элементов. Количество их для различных формаций колеблется от 6 до 12.

---

* При наличии анализов нескольких технологических проб с одного месторождения определялось среднее содержание для каждого элемента. Пробы, взятые из зоны окисления, в подсчет не включались.

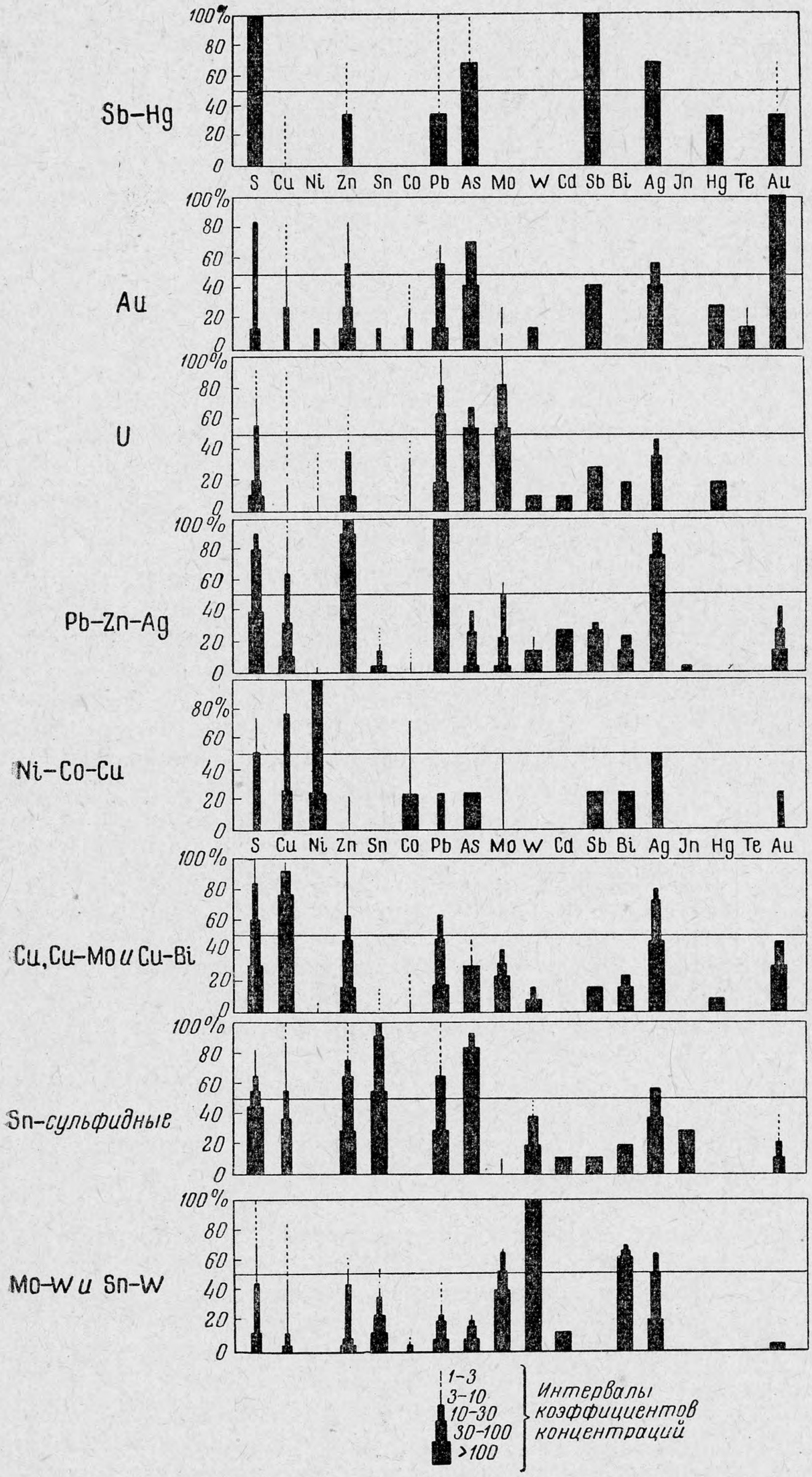


Рис. 1. Геохимические спектры рудных тел гидротермальных месторождений (по О. Д. Горбунову и Н. Н. Сочеванову) по данным анализов технологических проб

2. По степени распространенности элементы, отмечаемые в спектрах, могут быть разделены на три группы:

а) Широко распространенные «сквозные» элементы, повышенные содержания которых отмечаются в рудных телах месторождений почти всех рассматриваемых формаций. К ним относятся серебро, медь, мышьяк, свинец и цинк — наиболее типичные элементы гидротермального рудного процесса. Наличие их повышенных концентраций в рудах, вероятно, не зависит от температур и давлений, при которых происходило формирование месторождений.

б) Менее распространенные элементы, проявляющиеся в рудных телах месторождений только некоторых формаций. К ним относятся молибден, золото, вольфрам, висмут и сурьма. По мере увеличения температуры образования месторождений концентрация висмута в рудных телах резко увеличивается, а концентрация сурьмы падает.

в) Локально развитые элементы, отмечаемые в рудных телах отдельных рудных формаций. Наиболее четко проявлена локальность концентраций никеля и кобальта, которые в рудах месторождений большинства формаций либо не были обнаружены, либо устанавливаются в количестве до 10 кларков. К этой же группе элементов относятся олово и уран.

Из геохимических спектров (см. рис. 1) видно, что по элементному составу наиболее близки между собой рудные тела урановых и полиметаллических месторождений, особенности которых и рассмотрены в дальнейшем более подробно.

В табл. 2, помимо 18 элементов, имеющих сравнительно широкое развитие и отмечающихся в тех или иных концентрациях в рудах всех восьми формаций (см. рис. 1), включены еще восемь элементов, присутствие которых в повышенных концентрациях установлено в рудах урановых месторождений. Все элементы по частоте их обнаружения в рудных телах (по данным анализов технологических проб) разделены на четыре группы. Кроме того, указаны интервалы колебания коэффициента концентрации для каждого элемента. Рассмотрение табл. 2 позволяет сделать ряд замечаний, дополняющих приведенные выводы по геохимическим спектрам рудных формаций.

1. Из элементов, постоянно присутствующих в изученных урановых рудных телах, в высоких концентрациях содержатся свинец и молибден. Это дает право рассчитывать на сравнительно широкое развитие ореолов именно этих двух элементов вокруг урановых рудных тел. Иттербий, отнесенный по распространенности к этой же группе элементов, характеризуется низкими коэффициентами концентрации и связан, по-видимому, непосредственно с урановой смолкой, в которой отмечается его повышенное содержание (до 0,02%).

2. Элементы второй группы по распространенности — мышьяк, цинк, медь, серебро, которые, как и свинец, являются типичными «сквозными» элементами (см. рис. 1), характерны для большинства гидротермальных месторождений многих формаций.

3. Остальные элементы, внесенные во вторую группу (V, Y, Sc, Ga), характеризуются невысокими концентрациями в рудных телах, поэтому нет особых оснований рассчитывать на образование значительных по размерам ореолов этих элементов. Аналогичным образом может быть оценена роль лантана, бериллия и циркония.

4. Ртуть, сурьма и теллур установлены только в рудах низкотемпературных урановых месторождений *.

5. Хром, никель и кобальт отмечены в повышенных количествах на месторождениях, где вблизи рудных тел выделены дайки основных пород, поэтому небольшое повышение содержаний этих элементов в рудах в данном случае может быть отнесено на счет даек, для которых характерно повышенное содержание Cr, Ni и Co.

---

* Более широкая распространенность ртути в связи с ее очень низким кларком, очевидно, была бы выявлена при условии применения высокочувствительных методов анализа.

Таблица 2

Распространенность повышенных концентраций элементов (в % к общему количеству месторождений) и коэффициенты концентрации в рудах урановых и полиметаллических месторождений

(по данным химических и спектральных анализов технологических проб)

Постоянно присутствующие элементы (100% месторождений)			Часто присутствующие элементы (60—90% месторождений)			Нетипичные элементы (30—59% месторождений)			Редко присутствующие элементы (10—29% месторождений)		
Элементы	% распространенности	Коэффициент концентрации	Элементы	% распространенности	Коэффициент концентрации	Элементы	% распространенности	Коэффициент концентрации	Элементы	% распространенности	коэффициент концентрации
1. Урановые рудные тела											
U	100	>100	Cu	90	2—15	Ag	50	20—100	Hg	20[в]	30—1500
Pb	100	10—250	As	70	10—2000	Co	50[б]	1—10	Tl	10[е]	60
Mo	100	3—1500	Zn	70	2—200	Sb	30[в]	250	Be	20	2—20
Yb	100	3—30	V	70[а]	3—10	Cr	30[г]	2—6	Bi	20[д]	3—100
			Y	70	3	Ni	30[г]	2—10	Zr	20	3—10
			Sc	60	2—30	La	30[д]	1—5	Cd	10	200
			Ga	60	1—5				W	10[з]	1000
2. Полиметаллические рудные телаи											
Pb	100	500—5000	Ag	95	30—1000	Au	70[ж]	10—1000			
Zn	100	30—2400	Cu	90	2—150	As	40[ж]	3—1200	W	20	6—500
			Mo	60	3—2000	Sb	35[д]	10—10000	Co	15	1—6
						Sn	30	2—200			
						Cd	30[ж]	3—2000			
						Bi	25[ж]	3—3000			

а В остальных 30% месторождений содержания ванадия в рудах ниже кларка.
б В 40% месторождений содержание кобальта ниже кларка.
в Повышенные концентрации сурьмы и ртути отмечены только в рудных телах низкотемпературных урановых месторождений.
г Повышенные содержания хрома и никеля установлены на месторождениях, где развиты дайки основных пород. В 50% месторождений содержание никеля ниже кларка.
д Проанализированы пробы не со всех месторождений.
е Типичный элемент для одного из месторождений с теллуровой минерализацией.
ж В 20% месторождений содержание золота, мышьяка, висмута и кадмия ниже кларка.
з Отмечен в одной пробе, в других пробах отсутствует.
и Данные о содержании урана в пробах руд полиметаллических месторождений отсутствуют.

6. Олово и золото не отмечаются в рудах урановых месторождений. В большинстве случаев их концентрация ниже кларка литосферы. В то же время оба элемента фиксируются в повышенных концентрациях в ряде полиметаллических месторождений.

7. В рудных телах полиметаллических месторождений коэффициент концентрации свинца в 20—50 раз, а цинка и меди на порядок выше, чем в урановых рудных телах. В то же время для полиметаллических месторождений концентрация молибдена ниже, чем для урановых месторождений (см. рис. 1).

Гидротермальные урановые месторождения, на которых проводились геохимические исследования, относятся к собственно урановым месторождениям, которые хотя и сформировались в несколько стадий минерализации, в отличие от урановых месторождений других формаций характеризуются количественным преобладанием минералов смолковой стадии над минералами досмолковых и послесмолковых стадий минерализации. В составе руд этих месторождений наиболее распространены урановая смолка, пирит, галенит, сфалерит, молибденит, реже встречаются халькопирит, арсенопирит, блеклые руды, крайне редки аргентит, кобальтин и др. Главными парагенными с урановой смолкой сульфидами являются пирит, галенит, молибденит, а из нерудных минералов наряду с кальцитом отмечаются темный флюорит, серицит, кварц и альбит. Среди жильных минералов других стадий наиболее распространен кварц, менее — хлорит, барит, анкерит и кальцит.

Рудные тела изученных урановых месторождений по условиям залегания и форме могут быть разделены на две группы. В первую группу входят крутопадающие тела жильного типа, располагающиеся в тектонических трещинах или трещинных зонах. Размеры их по простиранию и падению изменяются от первых десятков до первых сотен метров при мощности от нескольких десятков сантиметров до 1—2 *м* и более. Во вторую группу объединяются как крутопадающие, так и пологопадающие штокообразные по форме рудные тела со штокверковым распределением рудообразующих минералов. Они контролируются крутопадающими тектоническими нарушениями и имеют размеры в горизонтальном сечении от нескольких десятков до тысяч квадратных метров. Как жильные, так и штокверковые рудные тела часто не имеют четких ограничений, и руды постепенно переходят во вмещающие породы.

Рудовмещающие тектонические трещины и трещинные зоны либо прослеживаются до поверхности, либо, расщепляясь, выклиниваются, не доходя до поверхности. В последнем случае образуются скрытые рудные тела, не выходящие на поверхность коренных пород.

Вмещающими породами изученных месторождений являются гранит-порфиры, граносиенит-порфиры, андезитовые порфириты, сланцы, эффузивные и пирокластические породы кислого состава — кварцевые порфиры, фельзит-порфиры, их туфы и туфолавы. Околорудные изменения вмещающих пород представлены в основном окварцеванием, серицитизацией, альбитизацией и покраснением (гематитизацией). Вокруг рудных тел, залегающих в кварцевых порфирах и туфах кварцевых порфиров, кроме того широко развиты пиритизация и осветление.

Зона окисления на большинстве изученных гидротермальных месторождений развита слабо, и даже такие минералы как урановая смолка нередко обнаруживаются на поверхности. В этих условиях ореолы химических элементов в коренных породах не претерпевали существенных изменений, связанных с процессами гипергенеза.

2. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛАХ И ВОПРОСЫ ИХ ГЕНЕЗИСА

П е р в и ч н ы е (э н д о г е н н ы е) о р е о л ы представляют собой зоны рудовмещающих пород, окаймляющие рудные тела и характеризующиеся повышенным содержанием химических элементов, привнесенных

в процессе рудообразования и входящих в состав рудных тел. Первичные ореолы генетически тесно связаны с околорудными изменениями вмещающих пород и являются одним из проявлений единого процесса рудообразования. Можно подчеркнуть лишь формальные различия между околорудными изменениями пород и ореолами.

Если при образовании зон измененных пород происходит существенное изменение их минералогического и химического составов за счет привноса, выноса и перераспределения химических элементов породообразующих минералов, то образование первичных ореолов связано только с привносом во вмещающие породы рудообразующих химических элементов. Зоны измененных пород — обычно визуально наблюдаемые объекты, а ореолы часто устанавливаются лишь в результате химического или спектрального определения содержаний химических элементов в породах.

Вместе с тем имеют место и такие околорудные изменения вмещающих пород, которые являются в то же время и ореолами некоторых элементов. Так, пиритизация пород, происходящая за счет привнесенной гидротермальными растворами серы и заимствованного из вмещающих пород железа, является одновременно ореолом серы, турмалинизация пород соответствует ореолам бора и т. д.

Ореолы устанавливаются в виде зон с аномальными концентрациями химических элементов по отношению к их первоначальным содержаниям в породах. Местное, наиболее часто встречающееся содержание первично распределенного химического элемента в данной петрографической разности пород, не несущей следов околорудного метаморфизма, принимается нами за геохимический фон (*гф*) того или иного элемента *. Поскольку в различных районах и в неодинаковых по химическому составу породах содержания элементов различны и иногда существенно отличаются от кларков, для районов и площадей, сложенных разными по составу породами, нами определялся геохимический фон для каждого из элементов.

Образование первичных ореолов, как уже указывалось, зависит от привноса рудообразующих элементов во вмещающие породы гидротермальными растворами, из которых формируются и сами рудные тела. Следовательно такие параметры ореолов, как состав и концентрация элементов, тесно связаны с минералогическими и геохимическими особенностями рудных тел.

Вопросам формирования эндогенных ореолов посвящены работы Д. С. Коржинского (1953, 1957), Л. Н. Овчинникова (1956), К. М. Муканова (1959), Н. И. Сафронова (1959), Г. И. Россмана (1960). Е. М. Янишевского и С. В. Григоряна (1963), Р. И. Дубова (1963) и других советских и зарубежных исследователей. Нами использованы основные положения трудов указанных авторов, а также результаты собственных наблюдений.

При изучении распределения химических элементов обращает на себя внимание постепенное уменьшение содержаний рудообразующих элементов во вмещающих породах по мере удаления от рудных тел или рудоподводящих тектонических нарушений. Это свидетельствует о том, что причиной формирования первичных ореолов является миграция химических элементов. Теория физико-химических процессов, лежащих в основе геологических явлений, показывает, что миграция элементов в горных породах при гидротермальном рудообразовании может происходить путем диффузии и инфильтрации.

Диффузия в общем смысле сводится к перемещению частиц вещества — ионов, атомов, молекул, коллоидов — в направлении убывания их концентраций. Перемещение обусловлено тепловым движением частиц и может происходить в твердой, жидкой и газообразной фазах. Если частицы не подвергаются воздействию внешних сил, диффузия приводит к выравниванию

---

* Геохимический фон соответствует моде кривой распределения частот содержания элемента. Методику определения геохимического фона и значения минимальной аномалии см. в главе III.

концентраций и равномерному заполнению частицами всего рассматриваемого объема. Движущей силой диффузии является возникновение разностей химических потенциалов. Под химическим потенциалом понимается особая функция состояния вещества, объединяющая частные случаи диффузии под влиянием разности концентраций (закон Фика), разности температур (принцип Соррэ), разности давлений (принцип Рикке). Количественное выражение химического потенциала зависит от температуры, давления и концентрации компонентов системы.

Инфильтрация — это движение жидкостей и газов, а также истинных и коллоидных растворов сквозь пористую среду. Движение растворов в горных породах осуществляется либо путем свободной циркуляции по трещинам достаточно большого размера, либо просачиванием под давлением по системе сообщающихся между собой пор и тонких трещин. В последнем случае, когда размер пор и микротрещин меньше $5 \cdot 10^{-6}$ *см*, создаются условия для проявления фильтрационного эффекта, сущность которого заключается в том, что из-за различных скоростей движения растворителя и растворенных веществ часть компонентов раствора задерживается, обогащая его, или оседает на фильтре. Отношение количества растворенного вещества, прошедшего через фильтр, к полному количеству вещества, поступившему на фильтр, называется коэффициентом фильтрации.

Величина коэффициента фильтрации обычно меньше или равна единице и зависит от составов растворителя, растворенного вещества, а также характера фильтрующей среды. Как показали экспериментальные исследования, увеличение давления и радиуса фильтрующегося гидратированного иона приводит к росту фильтрационного эффекта, в то время как увеличение размера пор, температуры и концентрации раствора, а также коэффициента диффузии иона вызывает уменьшение эффекта, и коэффициент фильтрации приближается к единице (Овчинников, 1956).

Таким образом, принципиальное отличие двух рассматриваемых процессов состоит в том, что при инфильтрации рудные компоненты перемещаются вместе со средой, где они находятся в растворенном или взвешенном состоянии, а при диффузии перемещение частиц рудного вещества происходит внутри относительно неподвижной среды или из одной среды в другую. В природной обстановке в условиях гидротермального рудообразования процессы фильтрации и диффузии чаще всего протекают совместно и одновременно. Поэтому подразделение эндогенных ореолов на диффузионные и фильтрационные является в достаточной мере условным и отражает только ведущую роль одного из процессов.

Математическое описание фильтрации и диффузии в чистом виде не отличается сложностью. Но для природных условий, как было уже показано, воздействие всех внешних и внутренних факторов на процессы формирования эндогенных ореолов количественно учесть невозможно, поэтому теоретический расчет распределения концентраций элементов в первичных ореолах может быть выполнен только для идеализированных случаев. Этому вопросу посвящены работы Р. И. Дубова (1963), основные выводы которого сводятся к следующему.

Распределение концентраций элементов в диффузионных ореолах, образующихся около граничной плоскости, например стенки трещины, при условии, что концентрация элемента около этой плоскости поддерживается постоянной, а в твердой фазе далека от насыщения, определяется формулой

$$C_x = C_0 e^{-0{,}19\sqrt{\frac{\varkappa}{D}}x},$$

где C_0 — концентрация в исследуемой фазе на граничной плоскости;
x — расстояние по нормали от этой плоскости;
C_x — концентрация (за вычетом фона) на расстоянии x от плоскости;

$\varkappa$ — коэффициент поглощения, определяемый как доля вещества, поглощающаяся твердой фазой из единицы объема жидкой фазы в единицу времени t ($\varkappa t > 10$);

D — коэффициент диффузии.

Пространственное распределение концентраций в фильтрационном ореоле как в жидкой, так и в твердой фазе приближенно также подчиняется экспоненциальному закону

$$C_x = C_0 e^{-\lambda x},$$

где C_x — концентрация элемента на расстоянии x от точки с концентрацией C_0 (в той же фазе);

λ — коэффициент поглощения при фильтрации, характеризующий долю уменьшения концентрации на единицу пути, обусловленного сорбцией, осаждением или другими процессами. Коэффициент поглощения зависит от трещиноватости, пористости, химической активности растворов и пород и других причин.

Предлагаемые формулы теоретически допускают решение обратной задачи — на основании определения содержаний элементов в достаточном числе точек ореола и предположений о концентрациях их на границе рудносной зоны можно определить коэффициент поглощения и расстояние до рудного тела.

На эндогенную миграцию элементов оказывают влияние, согласно А. Е. Ферсману (1934), как внешние факторы, определяющие физико-химическое состояние системы — давление, температура, концентрация элементов в растворах, так и внутренние факторы, определяемые свойствами самих элементов — ионные радиусы, удельные веса, летучесть соединений, способность к комплексообразованию, сорбционные свойства и т. п.

В образовании эндогенных ореолов особо важная роль принадлежит давлению. Изучение формы ореолов, их пространственных взаимоотношений с рудными телами, зонами измененных пород и тектоническими структурами подтверждает положение современной теории эндогенного рудообразования о восходящем движении рудоносных растворов. Растворы движутся из глубинных областей с высоким давлением, созданным тектоно-магматическими процессами, в близповерхностные зоны, где давление ослаблено. Форма рудных тел и окружающих их ореолов контролируется тектоническими структурами, благоприятными для рудоотложения. Так, ореолы крутопадающих рудных тел вытягиваются по вертикали на значительные расстояния при относительно малых размерах вкрест простирания рудоносных зон. Этим подтверждается влияние давления, в особенности его градиента, на направление и скорость просачивания растворов, т. е. на масштабы фильтрационного процесса.

Величина внешнего давления сказывается и на переносе легколетучих соединений в водных растворах. Растворы, насыщенные этими соединениями в зоне высоких давлений, проникают по тектоническим нарушениям в приповерхностные зоны с низкими давлениями, где происходят отделение углекислоты, сероводорода и других легколетучих соединений и их отгонка за пределы образующихся рудных тел путем газовой фильтрации.

Изменение температуры оказывает существенное влияние как на фильтрационные, так и на диффузионные процессы. В целом при повышении температуры возрастает способность элементов к миграции. В условиях высокой температуры уменьшается вязкость растворов и соответственно растет способность их к просачиванию сквозь пористые и трещиноватые зоны. При низких температурах движение растворов происходит в основном по открытым трещинам. С повышением температуры резко возрастает также скорость диффузии за счет увеличения коэффициентов диффузии. Так, при повышении температуры от 25 до 100° С коэффициенты диффузии ряда ионов (K^+, Ag^+, Ba^{2+} и др.) возрастают в 2—3 раза (Garrels, 1949). Кроме того, с повыше-

нием температуры увеличивается возможность переноса ряда легколетучих элементов или их соединений в газообразном состоянии в верхние части рудовмещающих тектонических зон. Этим объясняется наличие своеобразных «шапок» ртути, мышьяка, сурьмы, серы и некоторых других элементов над рудными телами.

В целом следует отметить, что ореолы, распространяющиеся на значительные расстояния от рудных тел, особенно по восстанию тектонических нарушений, образовались в основном путем просачивания (инфильтрации) рудоносных растворов по трещинам. Материал трещин оказывается наиболее обогащенным рудными элементами. В монолитных породах между трещинами

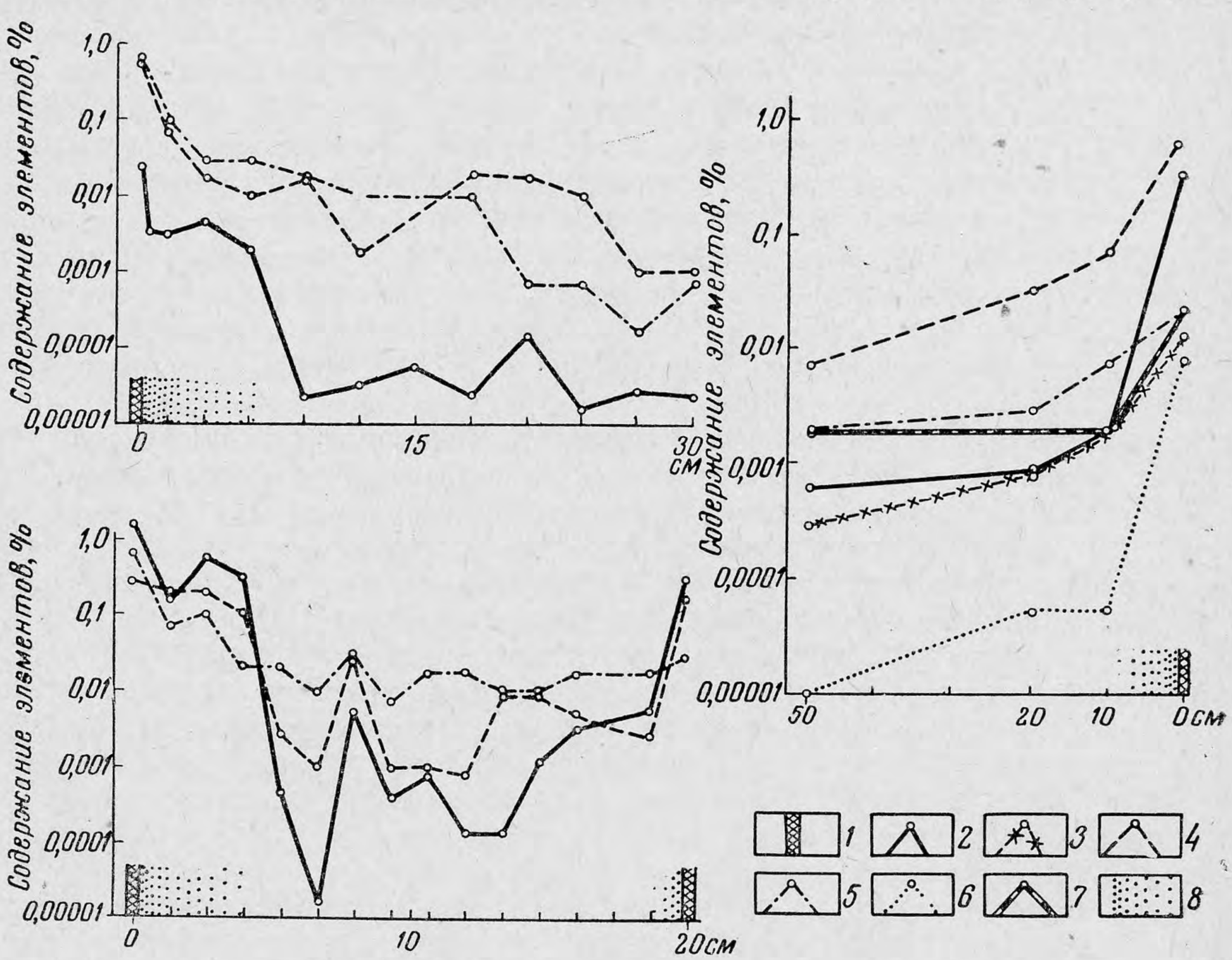


Рис 2. Графики распределения урана, свинца, молибдена и других элементов вокруг рудоносных трещин (по Э. Н. Баранову и С. В. Григоряну)

1 — рудоносные трещины; графики распределения: *2* — урана общего; *3* — урана подвижного; *4* — свинца; *5* — молибдена; *6* — серебра; *7* — меди; *8* — покраснение пород

элементы содержатся в меньших концентрациях, иногда близких к фоновым. В связи с этим графики распределения элементов имеют сложную форму и характеризуются многочисленными пиками и провалами. В стороны от трещин рассеяние элементов, очевидно, происходило путем диффузии на небольшие расстояния, о чем свидетельствует крутой наклон кривых распределения элементов (рис. 2).

Из этих общих теоретических положений о двух процессах, обусловливающих образование первичных ореолов, вытекают следующие практические выводы, подтвержденные исследованиями на ряде месторождений:

а) в ослабленных, трещиноватых зонах, расположенных вблизи рудоподводящего канала, содержания элементов должны быть выше, чем во вмещающих эти зоны плотных, малопроницаемых породах;

б) распределение элементов в первичном ореоле должно быть неравномерным, причем степень неравномерности увеличивается по мере приближения к рудному телу;

в) в случае пологопадающих рудных залежей преимущественное развитие ореола будет происходить в сторону висячего бока и подчиненное — в сторону лежачего бока рудного тела.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРВИЧНЫХ ОРЕОЛОВ ВОКРУГ УРАНОВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

Состав ореолов

Состав ореолов рассеяния, как установлено, соответствует элементному составу рудных тел, которые они окаймляют. Ореолы в рудовмещающих породах образуют те же элементы, которые входят в состав минералов, слагающих рудные тела, или присутствуют в виде примесей в основных рудообразующих минералах. Это иллюстрируется табл. 3, в которой приведены основные элементы (в порядке убывания их концентраций), входящие в состав рудных тел и образующие ореолы в рудовмещающих породах на трех из изученных урановых месторождений.

Таблица 3

Основные элементы в рудных телах и ореолах

Месторождения и вмещающие породы	Основные элементы в рудных телах	Основные элементы в ореолах
Месторождение I в кварцевых порфирах и их туфах	Уран, свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро, цирконий	Уран, свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро, цирконий
Месторождения II и III в фельзитах и фельзит-порфирах	Уран, свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро	Уран, свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк, серебро
Месторождение IV в гранитах	Уран, свинец, цинк, медь, молибден, мышьяк, серебро	Уран, свинец, цинк, молибден, медь, мышьяк, серебро

Сходство элементного состава рудных тел и ореолов позволяет на основе изучения первичных ореолов на поверхности или в горных выработках предсказывать в общих чертах состав рудных тел, не обнаженных эрозией или не вскрытых горными выработками. Таким образом, элементы, распределенные в повышенных концентрациях в породах вокруг рудных тел, являются индикаторами этих рудных тел.

Однако не все элементы, образующие ореолы, имеют одинаковое значение как индикаторы рудных тел. Наиболее важными из них являются, очевидно, те, которые входят в состав минералов, парагенетически связанных с урановыми, или присутствуют в виде примесей в урановых и парагенных с ними минералах. Именно эти элементы являются с п у т н и к а м и урана и п р я м ы м и индикаторами рудных тел. Элементы, образующие минералы, выделившиеся в доурановую и послеурановую стадии минералообразования, могут быть лишь к о с в е н н ы м и индикаторами урановых рудных тел и только в тех случаях, когда установлено, что участки концентрации минеральных комплексов досмолковых или послесмолковых стадий совпадают в пространстве с участками локализации минералов урановой стадии.

По концентрации в рудных телах элементы можно разделить на две группы:

а) с высокими концентрациями, обычно образующие широкие и интенсивные ореолы вокруг рудных тел;

б) с низкими концентрациями, образующие небольшие по размерам и содержаниям ореолы.

В результате изучения многочисленных эндогенных урановых месторождений и рудопроявлений, расположенных в различных районах и залегающих в кислых и средних по составу породах разного возраста (от докембрия до третичного), установлено, что основными элементами-спутниками урана на большинстве месторождений являются молибден и свинец *. Второе место по распространенности занимают медь и мышьяк, ореолы которых установлены также на многих урановых месторождениях.

Из элементов с более низкими концентрациями в первичных ореолах урановых месторождений часто отмечаются Zn, Ag, Tl, Ba, Sb, реже встречаются Zr, P, Th, V, Y, Mn, B. Распределение ртути в коренных породах изучено только на небольшом количестве месторождений и на некоторых из них установлены ее ореолы. Указанные элементы образуют вокруг рудных тел ореолы, меньшие по размерам и концентрациям по сравнению с ураном и основными элементами — свинцом, молибденом, медью, и мышьяком.

Известно, что содержание урана в ореолах складывается из первично распределенного во вмещающих породах и привнесенного рудообразующими гидротермальными растворами, образующего ореол вокруг рудных тел. Формы нахождения привнесенной части урана и представляют наибольший интерес.

Очевидно, что для выяснения форм нахождения элементов в ореолах необходимо прежде всего знать формы нахождения первично распределенных частей их во вмещающих породах.

Для урана, как известно, характерно несколько форм нахождения в магматических породах. Так, Л. В. Таусон (1956) выделяет две основные формы нахождения урана в гранитоидах: изоморфную и неизоморфную. Уран, содержащийся в форме изоморфной примеси в решетке акцессорных и породообразующих минералов, извлекается из породы полностью только после разрушения кристаллической решетки этих минералов. Уран, находящийся в неизоморфной форме или так называемый подвижный уран, извлекается из пород слабыми растворителями.

Содержание подвижного урана в пробах нами опредялось путем выщелачивания урана 2%-ным раствором соды с добавлением перекиси водорода и при кипячении в течение получаса.

Многочисленные определения показывают, что за пределами ореолов во вмещающих породах содержание подвижного урана хотя и значительно колеблется, но в подавляющем большинстве случаев не превышает 20—25% от его весового содержания. В то же время экспериментально установлено, что при содовом выщелачивании основные носители урана в рудах изученных месторождений — урановые смолка и черни — полностью растворяются.

В пробах, отобранных из ореолов и отличающихся относительно высоким содержанием урана, возрастает процент его подвижной формы, что вызвано переходом в раствор урана, привнесенного в результате гидротермального процесса. Так, при увеличении валового содержания урана от 0,001 до 0,002% количество подвижного урана возрастает примерно в 2 раза (с 23 до 42%), а при увеличении валового содержания урана до 0,01—0,02% — примерно в 4 раза (до 87%). Это позволяет считать, что привнесенный в породы уран, образующий первичные ореолы, находится в основном в форме собственных минералов. Подтверждением этому служит обнаружение урановой смолки в шлифах, изготовленных из тяжелых фракций проб с повышенным содержанием урана (0,002—0,02%).

Спутники урана — свинец, молибден, цинк и медь — в ореолах также находятся в основном в форме собственных минералов-сульфидов. Эти минералы в шлифах, изготовленных из образцов пород, из-за их незначительного содержания, как правило, не устанавливаются. Нами они были обна-

---

* Изотопный анализ свинца позволил установить, что в пределах ореолов присутствует не радиогенный, а обычный свинец.

ружены в шлифах, изготовленных из материала тяжелых фракций протолочек проб, отобранных из зоны ореола.

Кроме минерального состава фракций проб, в их материале определялись содержания элементов-спутников урана с целью выяснения распределения этих элементов по фракциям. В табл. 4 приведены результаты анализа различных фракций пробы С-137, отобранной из пород в пределах ореола на месторождении IV, рудные тела которого залегают в гранитах. Для сравнения здесь же приведены данные о распределении этих элементов по фракциям пробы, отобранной за пределами ореолов (проба С-127). Последняя характеризуется фоновыми содержаниями элементов.

Таблица 4

Распределение элементов по фракциям проб

№ пробы	Краткая характеристика пробы	Фракция	Класс крупности, *мм*	Содержание, %			
				Pb	Mo	Zn	Cu
С-137	Гранит, проба отобрана в пределах ореола	Общая проба	—	0,02	0,001	0,01	0,003
		Легкие фракции	—0,6+0,4	0,02	0,0006	0,01	0,002
			—0,4+0,25	0,01	Следы	Следы	0,0006
			—0,25+0,1	0,03	0,0006	0,01	0,003
		Тяжелые фракции [a]	—0,6+0,4	0,3	0,003	0 1	0,03
			—0,4+0,25	0,2	0,003	0,3	0.1
			—0,25+0,1	0,6	0,01	0,3	0,1
			—0,1	0,6	0,02	0,3	0,1
С-127	Гранит, проба отобрана за пределами ореола	Общая проба	—	0,006	0,0003	Следы	0,001
		Легкие фракции	—0,6+0,4	0,003	0,0003	Не обн.	0,0006
			—0,4+0,25	0,006	Не обн.	» »	0,0006
			—0,25+0,1	0,006	Следы	» »	0,001
			—0,1	0,006	0,0003	Следы	0,001
		Тяжелые фракции	—0,6+0,4	0,01	0,0006	Следы	0,003
			—0,4+0,25	0,02	0,001	0,01	0,006
			—0,25+0,1	0,06	0,002	0,02	0,02
			—0,1	0,06	0,003	0,02	0,02
Чувствительность анализа				0,001	0,0003	0,01	0,003

[a] Вес тяжелой фракции не превышает 5% общего веса пробы.

Из табл. 4 следует, что сопутствующими урану элементами наиболее обогащены тяжелые фракции пробы, отобранной в пределах ореола. В материале тяжелых фракций пробы С-137 под микроскопом были установлены галенит, молибденит,сфалерит и халькопирит. Других минералов, содержащих данные элементы в значительных количествах, не обнаружено. Это позволяет считать, что основное количество урана и его элементов-спутников находится в ореолах в минеральной форме.

Специальное изучение элементов-примесей в мономинеральных фракциях показало, что в галенитах, отобранных из пород в пределах ореолов и из урановых рудных тел, содержатся в качестве примесей уран, молибден,

Таблица 5

Содержание элементов-примесей в галенитах различных месторождений, %
(по Н. А. Ворошилову)

Место взятия пробы, (месторождение, горизонт)		U	Ti	Mo	Zr	Be	V	Cu	Zn	Ag	Sb	Bi	As
Урановое месторождение I	Горизонт II (3 пробы)	0,0015	0,03	0,001	0,01	—	Следы	0.03	1,0	0,03	Следы	—	Следы
		Не опр.	0,06	Следы	0,1	—	»	0,03	0,6	0,03	»	0,001	»
		0,025	0,1	0,003	0.01	—	»	0,01	1,0	0,03	—	—	0,1
	Горизонт III (3 пробы)	0,013	Следы	0,003	—	—	Следы	0,06	0,1	Следы	Следы	Следы	0,3
		0,016	—	Следы	—	—	—	—	0,03	0,001	—	—	—
		0,006	0,01	0,001	—	—	—	0,03	1,0	0,03	Следы	0,01	—
	Горизонт IV (3 пробы)	0,3	0 06	0,001	0,01	—	0,01	0,1	0,01	0,03	Следы	0,01	Следы
		0,3	0,01	0,001	0,01	Следы	0,01	0,03	0,01	0,03	»	—	—
		1,6	0,1	—	0,01	»	0,01	0,01	0,1	0,03	—	—	—
	Горизонт V (3 пробы)	1,0	0,6	0,003	0,1	0,001	0,01	0,1	0,01	0,01	Следы	—	0,1
		1,0	0,3	Следы	Следы	—	—	0,03	0,01	0,003	—	—	0,1
		Не опр.	0,01	»	—	—	—	0,1	0,1	0,03	0,01	Следы	0,1
Урановое месторождение II (2 пробы)		0,14	0,01	0,003	0,01	Следы	0,01	0,03	Следы	0,03	Следы	Следы	—
		0,55	0,01	—	0,01	—	0,01	0,01	—	0,01	—	—	—
Флюоритовое месторождение (3 пробы)		—	—	—	—	—	—	0,1	0,3	0,06	0,01	2	—
		—	Следы	—	—	—	—	0,03	0,01	0,01	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	0,1	—	0,03	0,01	0,001	—
Свинцовое месторождение (5 проб)		—	Следы	—	—	—	—	0,1	0,3	0,06	—	0,3	—
		—	0,01	0,001	—	—	—	0,3	—	0,01	Следы	Следы	—
		—	—	—	—	—	—	0,03	—	0,01	—	»	—
		—	Следы	—	—	—	—	1,0	—	0,1	Следы	0,3	—
		—	0,01	—	Следы	—	—	0,3	Следы	0,03	0,01	—	Следы
Полиметаллические месторождения	Актюз	—	—	—	—	—	—	0,3	0,01	0,1	0,03	0,1	—
	Гульшад	—	Следы	—	—	—	—	0,01	0,03	0,03	0,01	—	1,0
	Алабуга	—	—	—	—	—	—	0,03	—	0,06	0,1	—	—
	Кенчеку	—	—	—	—	—	—	0,01	—	0,1	0,01	—	—
	Боорду	—	Следы	—	—	—	—	0,6	0,6	0,1	0,03	0,1	0,6
	Кен-Шанык	—	»	—	—	—	—	—	Следы	0,6	0,1	0,01	Следы
Чувствительность анализа, %		0,001	0,01	0,001	0,003	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,01	0,001	0,03

Примечания: 1. Пробы, отобранные на II-V горизонтах, характеризуют галениты из ореола вокруг одного рудного тела, верхняя граница которого расположена между III и IV горизонтами.
2. Знак (—) означает содержание менее порога чувствительности анализа.

цирконий, ванадий, титан (табл. 5). Последние в виде примесей присутствуют также в урановой смолке, но, как видно из табл. 5, не обнаруживаются в галенитах из полиметаллических и флюоритовых (неурановых) месторождений.

Форма ореолов

Форма, пространственное положение и размеры первичных ореолов определяются прежде всего структурными и литологическими факторами, т. е. теми же, которые определяют морфологию рудных тел. Поступление элементов в основном путем просачивания растворов по тектоническим нарушениям и зонам трещиноватости обусловливает извилистые контуры ореолов с апофизами, вытянутыми вдоль трещин. Это наглядно иллюстрируется рассмотрением ореолов, развивающихся около рудных тел, залегающих в различной структурной обстановке.

На рис. 3 приведены поперечные разрезы ореолов подвижного урана и сопутствующих ему элементов вокруг крутопадающих трещинных зон со скрытыми урановыми рудными телами, залегающими в кислых эффузивах. В этих условиях ореолы имеют форму, в общем симметричную относительно рудного тела и вытянутую по вертикали (факеловидную в поперечном разрезе для некоторых элементов).

На рис. 4 изображены аналогичные по форме ореолы подвижного урана, свинца и молибдена (в плане и поперечном разрезе) вокруг скрытых урановых рудных тел, залегающих в грейзенизированных гранитах. Следует отметить, что сравнительно простой формы ореолы характерны лишь для обособленных крутопадающих рудоносных зон и рудных тел. Когда имеется несколько довольно крупных рудоносных трещинных зон, сближенных в пространстве, между которыми в гидротермально измененных породах развиты мелкие трещины, образуется один общий ореол вокруг группы рудных тел (см. рис. 4). При этом внутренние части ореолов с более высокими концентрациями элементов имеют более сложную конфигурацию. Однако и в этих случаях при крутом падении рудных тел общая вытянутость ореолов по вертикали сохраняется.

Вокруг пологозалегающих рудных тел, в которых рудовмещающими являются преимущественно пологопадающие трещины, ореолы вытянуты в направлении восстания этих трещин (рис. 5); при наличии крутопадающих трещин в висячем боку ореолы развиваются вдоль последних, располагаясь асимметрично относительно рудного тела (рис. 6).

У штокверковых рудных тел, в которых рудовмещающими являются как пологопадающие, так и крутопадающие трещины, форма ореолов определяется сочетанием тех и других (рис. 7, 8).

Таким образом, форма ореолов и их положение относительно рудных тел определяются в первую очередь расположением рудовмещающих трещин и трещинных зон, развитых вокруг рудных тел. Отсюда ясно, насколько важно изучение структуры каждого исследуемого участка при прогнозировании распространения ореолов на глубину, что необходимо для их правильной оценки и проектирования разведочных выработок и скважин с целью вскрытия предполагаемых скрытых урановых рудных тел.

Формирование первичных ореолов, помимо трещиноватости, в значительной степени зависит от эффективной (открытой) пористости пород, определяющей их проницаемость (Розанов, 1961), а также от их химического состава. При прочих равных условиях чем больше проницаемость пород, тем больше размеры первичных ореолов. Эта зависимость отражается на общей конфигурации ореолов, развивающихся в толще, сложенной разнородными породами. Так, на месторождении I в результате резкого уменьшения размеров ореолов урана и элементов-спутников в пределах горизонта фельзитов, залегающего среди более пористых туфов кварцевых порфиров, форма ореолов усложняется.

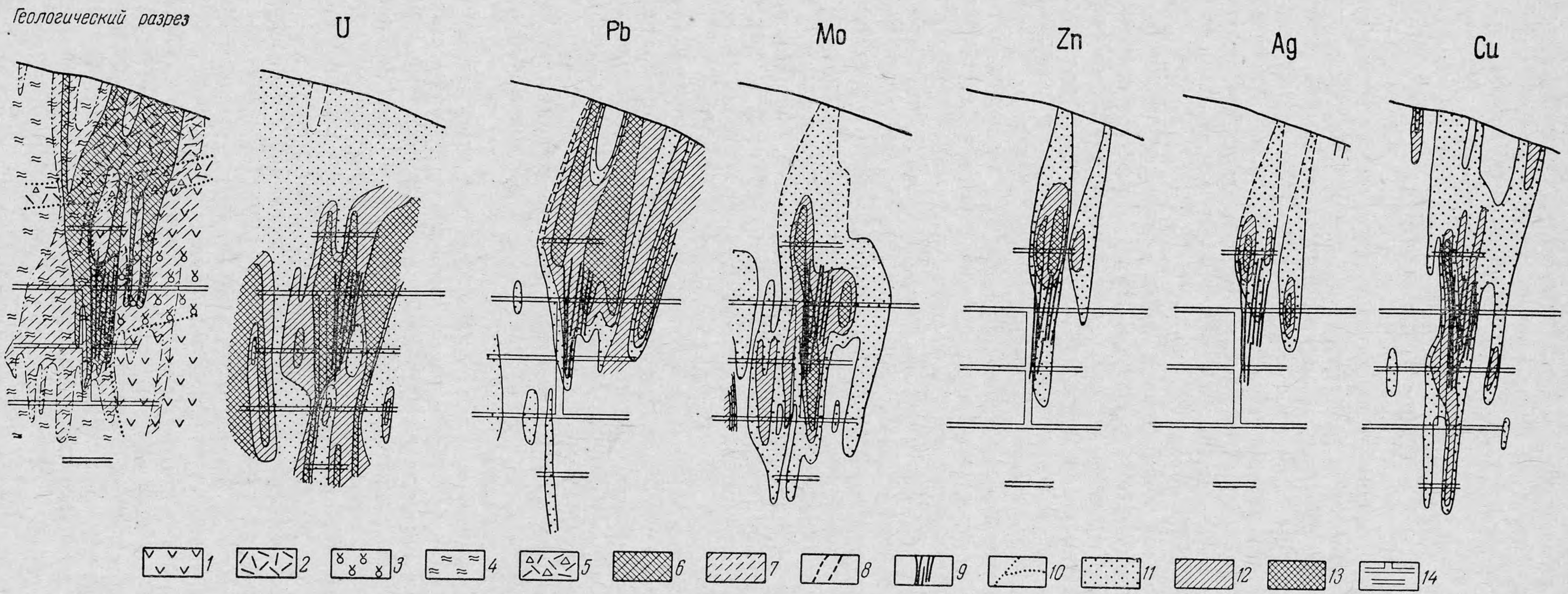


Рис. 3. Месторождение I. Ореолы вокруг крутопадающих ураноносных трещинных зон в разрезе (по Г. И. Вертепову)

1 — кварцевые порфиры; *2* — туфы кварцевых порфиров; *3* — сферолит-порфиры; *4* — фельзит-порфиры; *5* — туфобрекчии кварцевых порфиров. Интенсивность осветления пород: *6* — от 75 до 100 %; *7* — от 5 до 75 %; *8* — рудоносные трещинные зоны; *9* — урановые рудные тела; *10* — контакты пород. Содержание элементов в ореолах, *г/т*: *11* — от 2 до 20; *12* — от 20 до 50; *13* — более 50; *14* — горные выработки

а

U

Pb

Mo

I-I

I-I

I-I

б

20 0 20 40 60 м

1 2 3 4 5 6 7 8

Рис. 4. Месторождение IV. Ореолы элементов вокруг урановых рудных тел

а — в плане; *б* — в разрезе (по С. В. Григоряну)

1 — аллювиальные отложения; *2* — лейкократовые граниты; *3* — зоны грейзенизации; *4* — рудные тела; *5* — горные выработки и скважины. Содержание элементов, *гф*: *6* — менее 3; *7* — от 3 до 10; *8* — более 10

Влияние состава пород на развитие ореолов обусловлено химическим взаимодействием пород с проникающими в них растворами. В породах, химически активных по отношению к растворенному элементу, осаждение

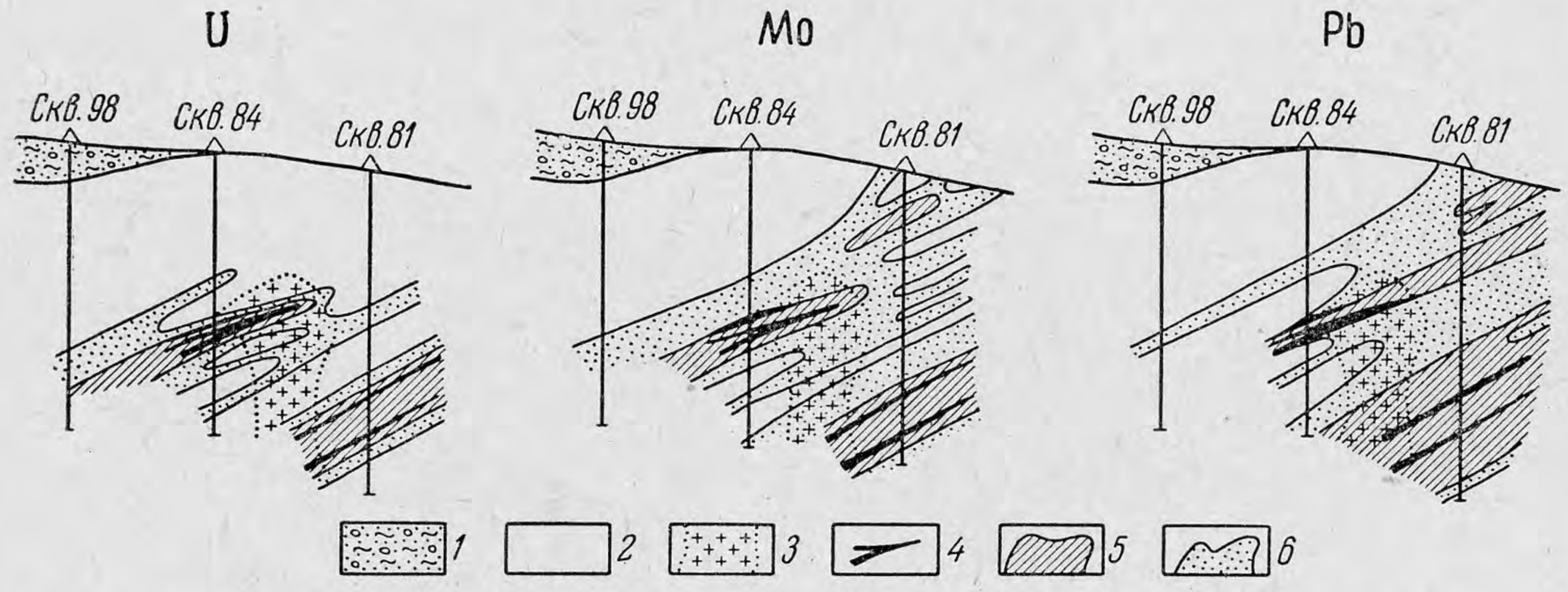


Рис. 5. Месторождение Х. Ореолы вокруг пологопадающих урановых рудных тел (по О. Д. Горбунову и Е. А. Майоровой)

1 — элювиально-делювиальные отложения; *2* — граносиениты; *3* — аляскитовые граниты; *4* — рудные тела. Содержание элементов в ореолах, *гф*: *5* — более 10; *6* — от 3 до 10

последнего должно происходить на меньшем расстоянии, чем в химически инертных породах. Однако конкретными фактами о влиянии состава пород на конфигурацию ореолов мы не располагаем, поскольку все изученные нами ореолы располагаются в близких по составу породах.

Размеры ореолов

Наиболее важной особенностью первичных ореолов химических элементов является то, что по своим размерам они в несколько раз превосходят окаймляемые ими рудные тела и имеют значительную протяженность по вертикали непосредственно над ними — от нескольких десятков до сотен метров. Эта особенность ореолов очень важна при использовании их для поисков скрытых рудных тел.

Размеры ореолов разных элементов, как показывают исследования, различны. В общем случае ширина ореола каждого из элементов на разных уровнях относительно рудного тела неодинакова и достигает наибольшей величины на уровне верхней границы рудного тела. На этом уровне у жильных рудных тел, располагающихся в крутопадающих трещинных зонах, ширина ореолов большинства элементов в 10—20 раз превышает мощность рудных тел, достигая многих десятков метров (см. рис. 3).

Около штокообразных рудных тел образуются ореолы, которые лишь в несколько раз превышают их мощность, что можно видеть на вертикальных разрезах ореолов, развивающихся вокруг рудных тел в гранит-порфирах (см. рис. 7), кислых эффузивах (см. рис. 8) и кварцевых порфирах (рис. 9).

Наиболее узкие ореолы наблюдались вокруг маломощных (первые десятки сантиметров) рудных линз с резко контрастными рудами. В ряде случаев, когда урановые рудные тела жильного типа приурочены к четким трещинам или трещинным зонам, ограниченным швами с глинкой трения и пересекающим монолитные (нетрещиноватые) породы, ширина ореолов также лишь в несколько раз превышает мощность рудных тел (рис. 10).

По простиранию наибольшую ширину ореолы всех элементов обычно имеют в средней части рудного тела. На концах рудного тела по простиранию его ширина ореолов постепенно уменьшается до полного выклинивания (рис. 11). По восстанию, выше верхней границы скрытого рудного тела, ширина ореолов также постепенно уменьшается до полного выклинивания

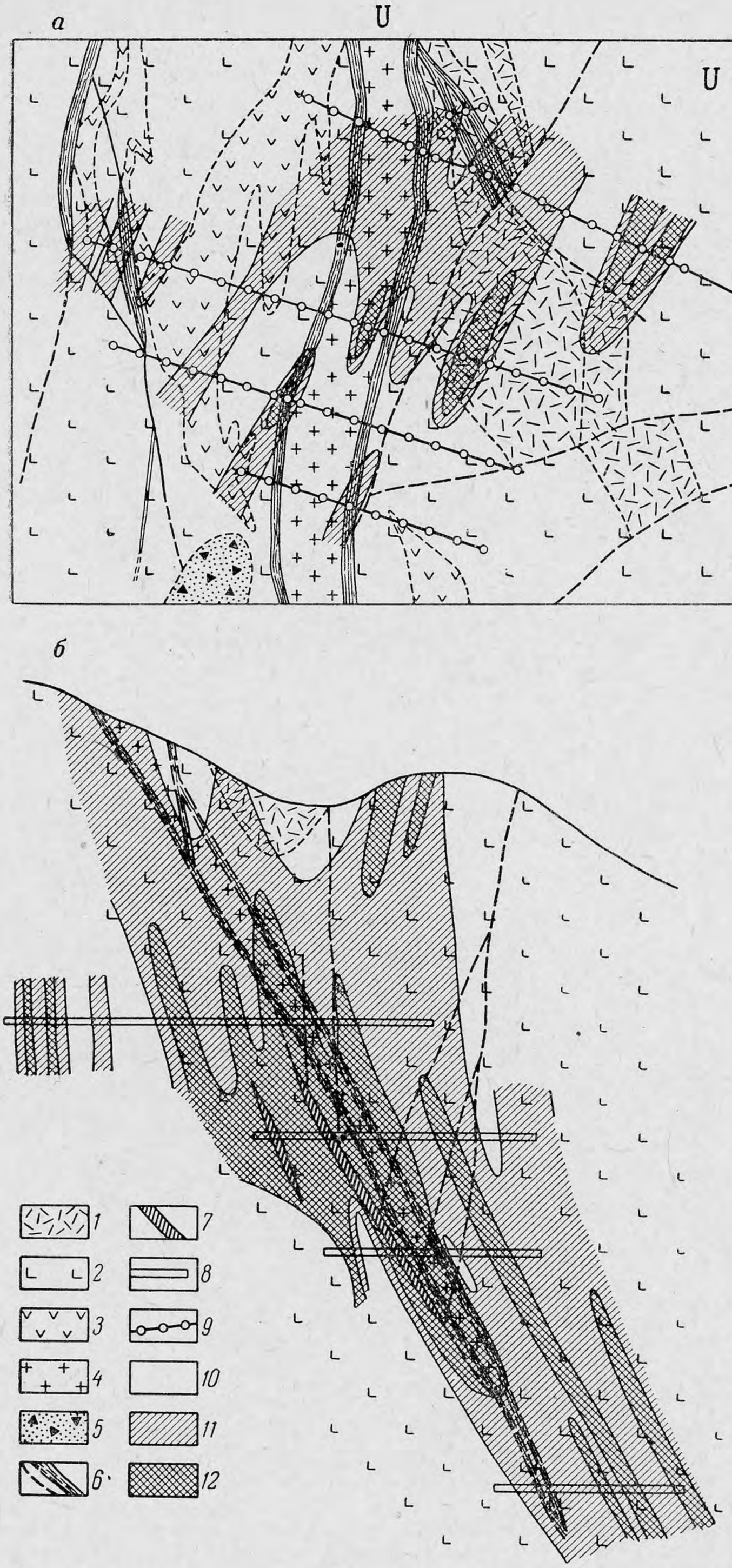


Рис. 6. Ореолы подвижного урана вокруг уранового рудного тела в коренных породах

а — в плане, *б* — в разрезе (по С. В. Григоряну)

1 — туфы кварцевого порфира; *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 геохимической съемки на поверхности. Содержание элементов в коренных породах; *гф*: *10* — менее 3; *11* — от 3 до 10; *12* — более 10

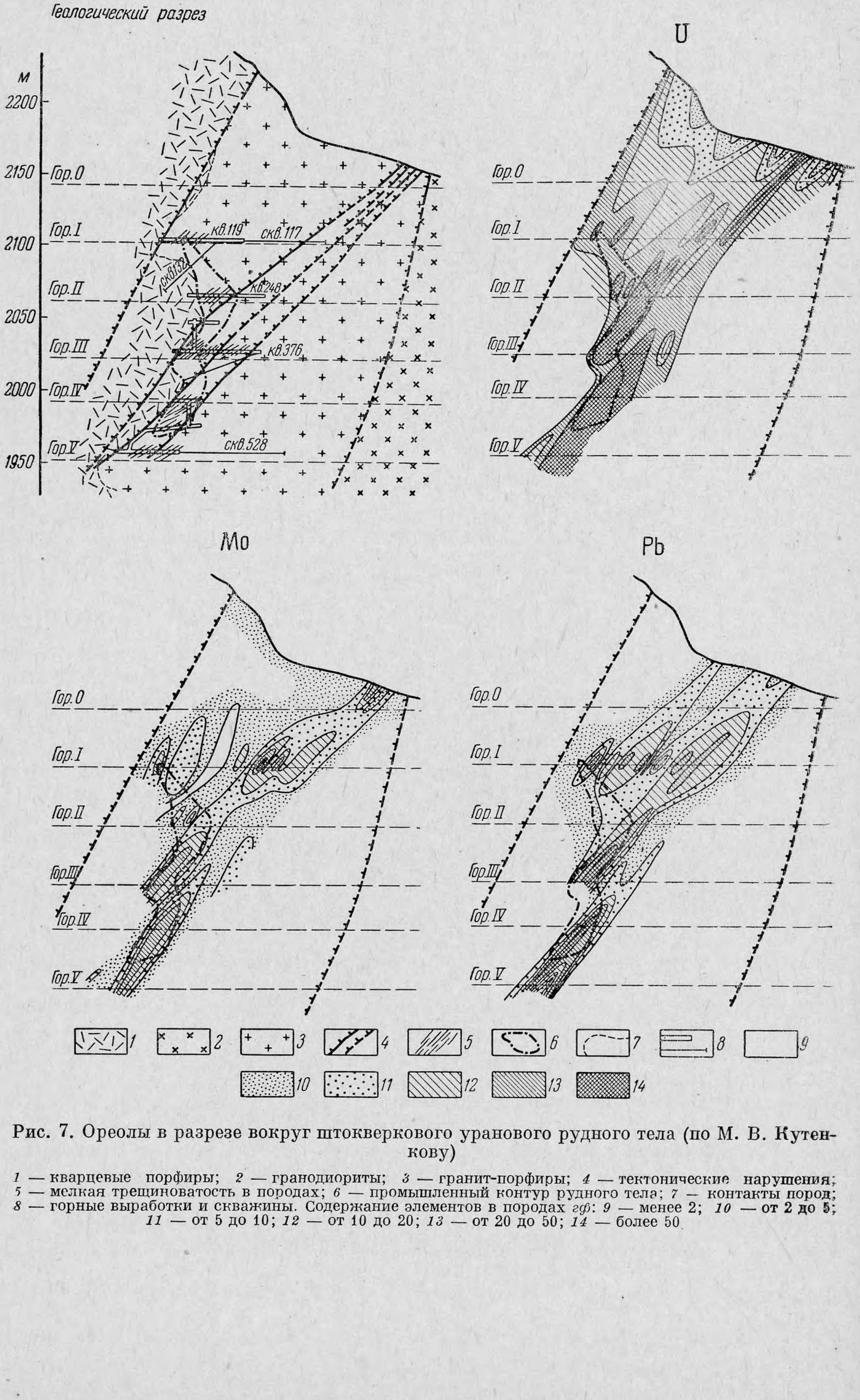


Рис. 7. Ореолы в разрезе вокруг штокверкового уранового рудного тела (по М. В. Кутенкову)

1 — кварцевые порфиры; *2* — гранодиориты; *3* — гранит-порфиры; *4* — тектонические нарушения; *5* — мелкая трещиноватость в породах; *6* — промышленный контур рудного тела; *7* — контакты пород; *8* — горные выработки и скважины. Содержание элементов в породах *гф*: *9* — менее 2; *10* — от 2 до 5; *11* — от 5 до 10; *12* — от 10 до 20; *13* — от 20 до 50; *14* — более 50

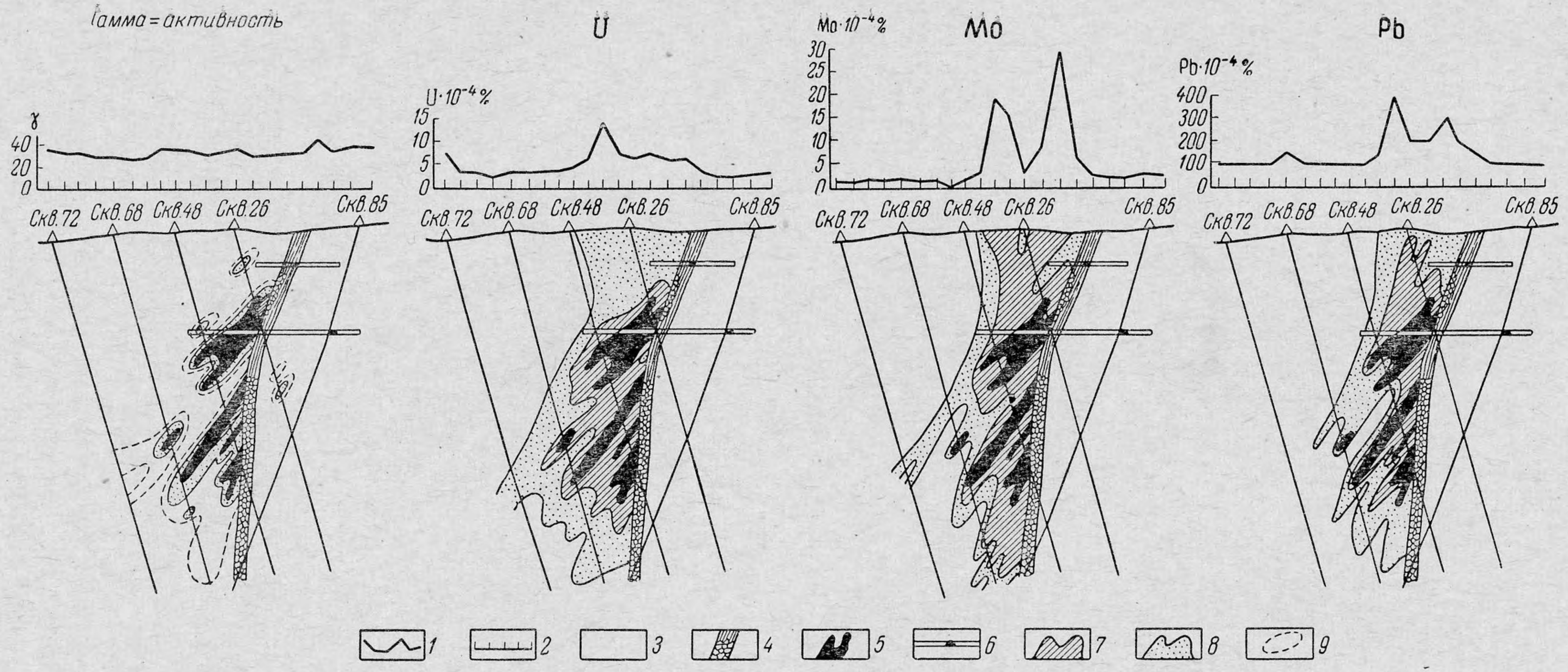


Рис. 8. Месторождение VI. Ореолы и гамма-активность вокруг крутопадающих рудных тел (по Е. А. Майоровой и В. Н. Тулину)

1 — графики гамма-активности и распределения элементов в делювии; *2* — точки отбора проб на поверхности; *3* — фельзиты, *4* — зоны дробления и брекчирования пород; *5* — рудные тела; *6* — горные выработки. Содержание элементов в ореолах, *гф*: *7* — более 10; *8* — от 3 до 10. Гамма-активность, *гф*: *8* — более 10; *9* — контур гамма-активности от 2 до 3

(см. рис. 3, 12). Длина по простиранию первичных ореолов на горизонте развития промышленного оруденения обычно лишь немного (на 20—50 *м*) превышает длину рудного тела (см. рис. 11) над скрытым рудным телом.

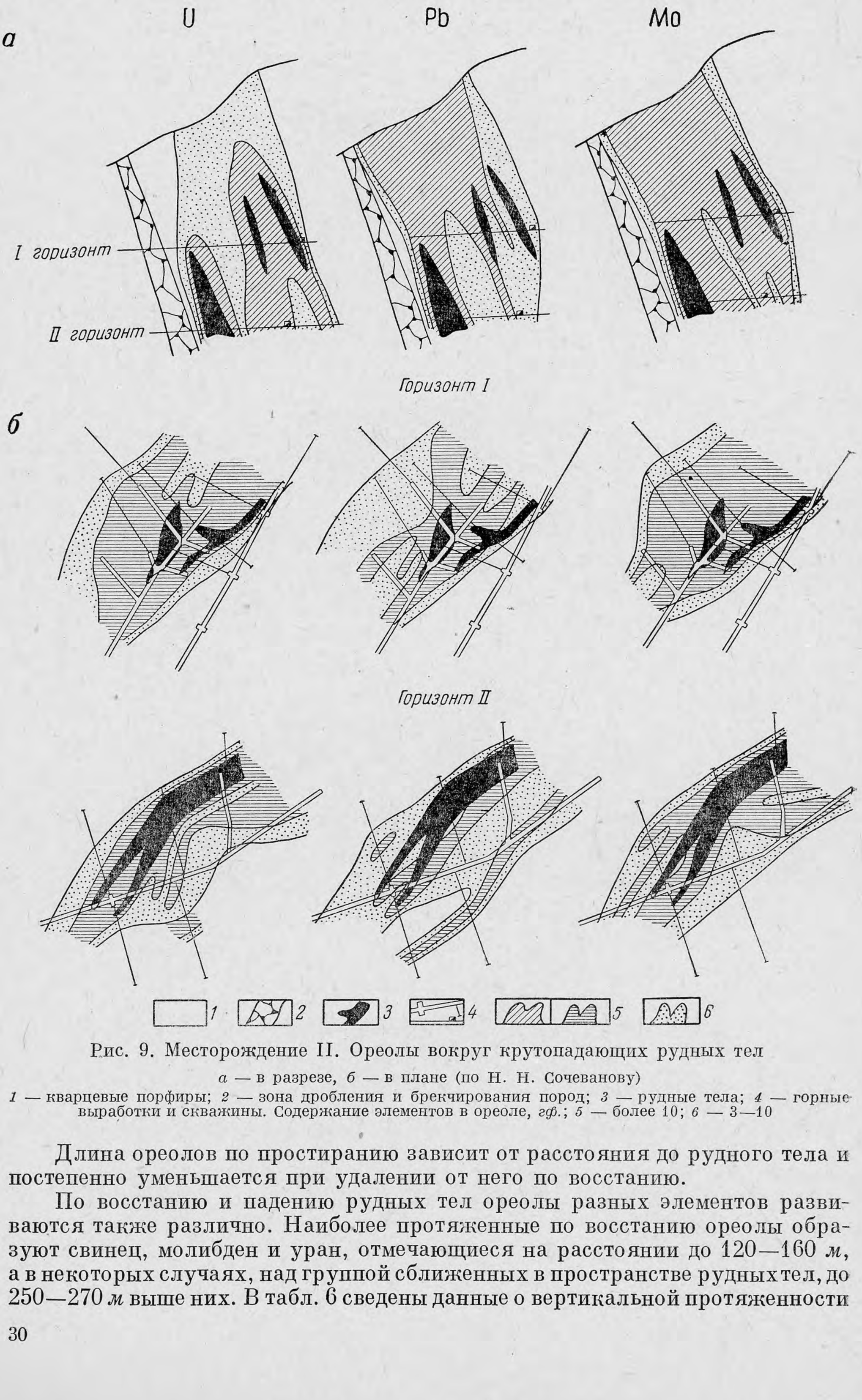


Рис. 9. Месторождение II. Ореолы вокруг крутопадающих рудных тел

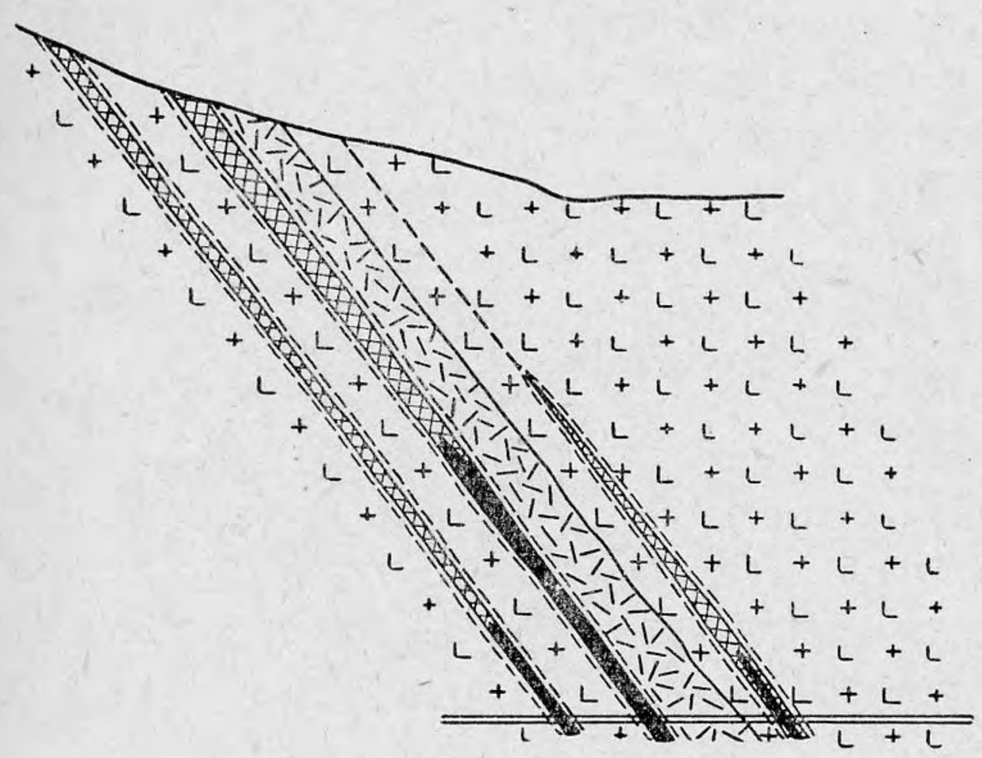
а — в разрезе, *б* — в плане (по Н. Н. Сочеванову)

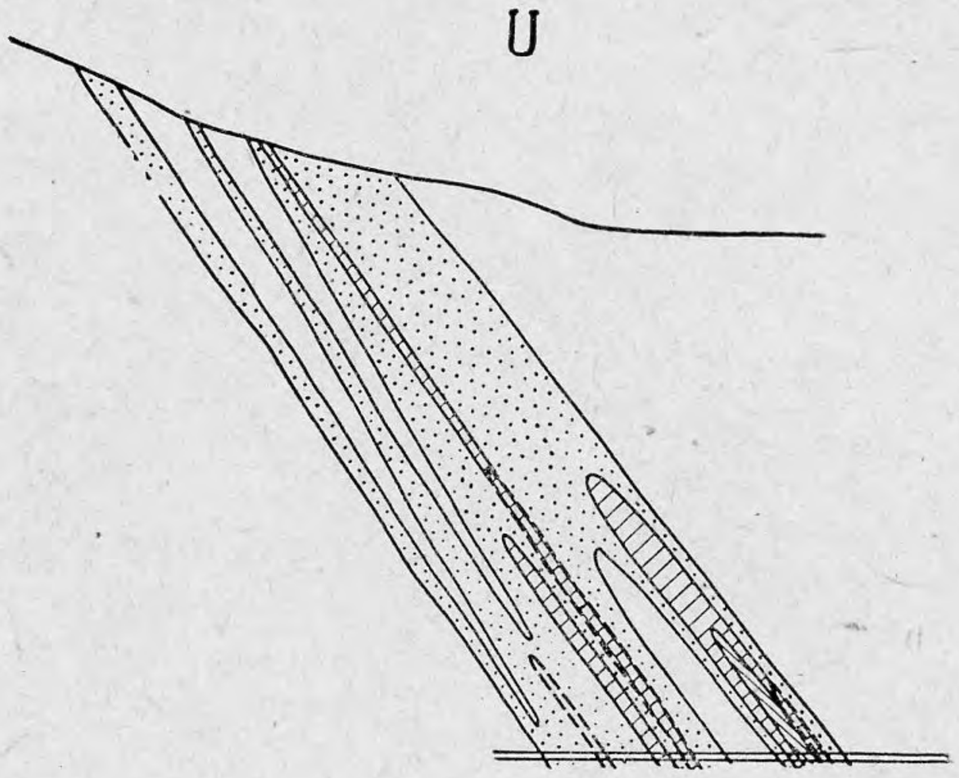
1 — кварцевые порфиры; *2* — зона дробления и брекчирования пород; *3* — рудные тела; *4* — горные выработки и скважины. Содержание элементов в ореоле, *гф.*; *5* — более 10; *6* — 3—10

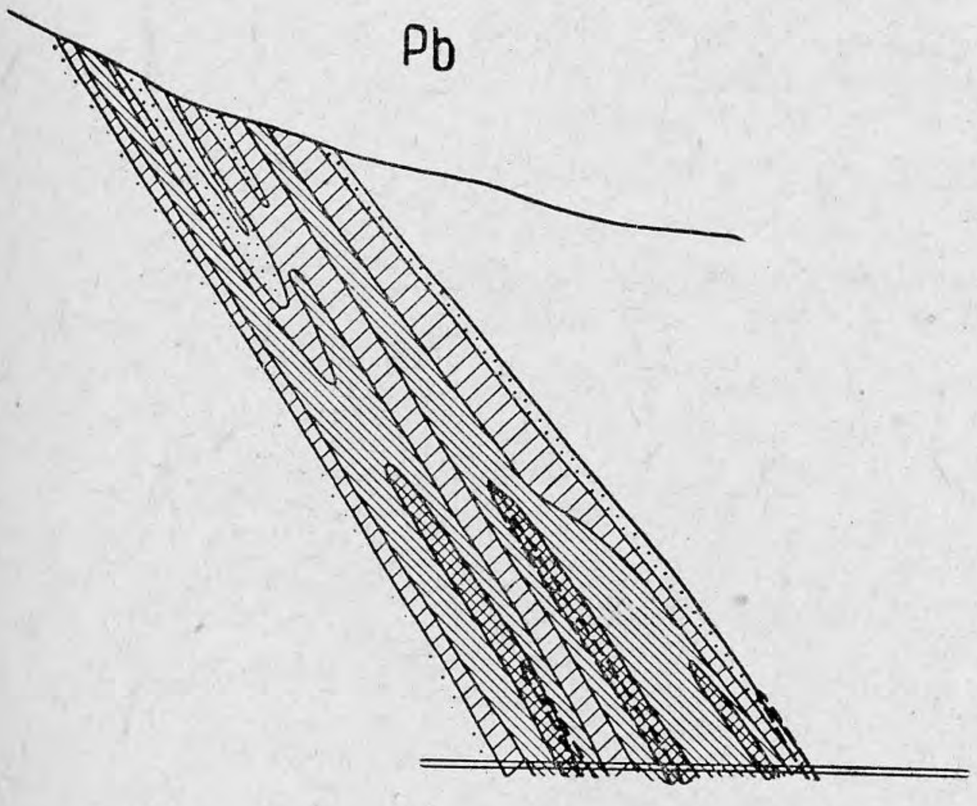
Длина ореолов по простиранию зависит от расстояния до рудного тела и постепенно уменьшается при удалении от него по восстанию.

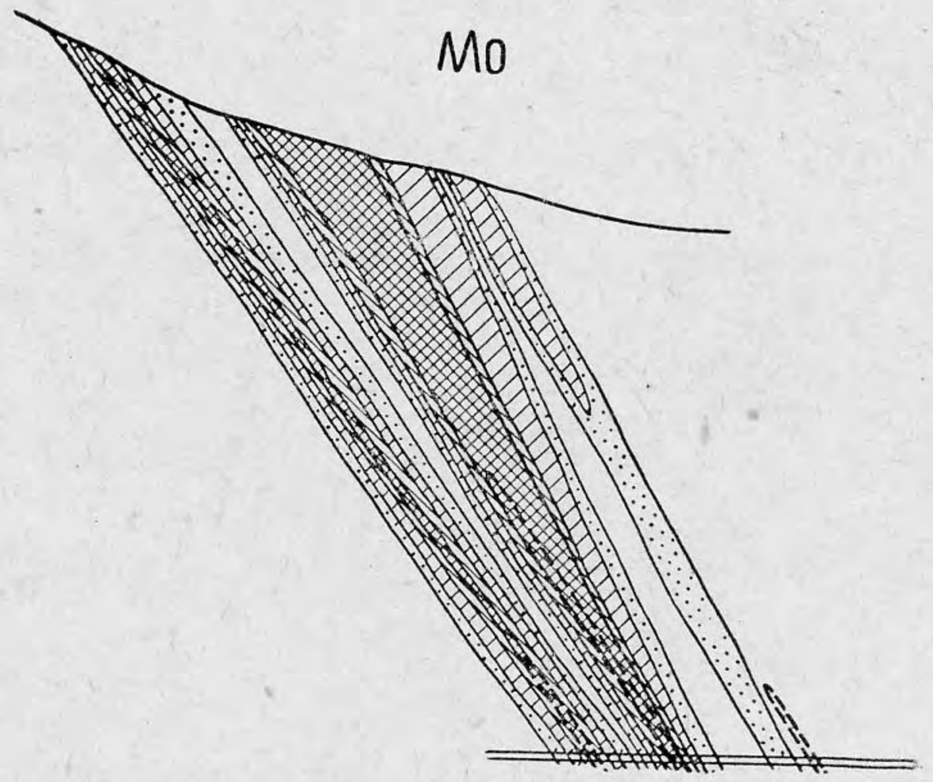
По восстанию и падению рудных тел ореолы разных элементов развиваются также различно. Наиболее протяженные по восстанию ореолы образуют свинец, молибден и уран, отмечающиеся на расстоянии до 120—160 *м*, а в некоторых случаях, над группой сближенных в пространстве рудных тел, до 250—270 *м* выше них. В табл. 6 сведены данные о вертикальной протяженности

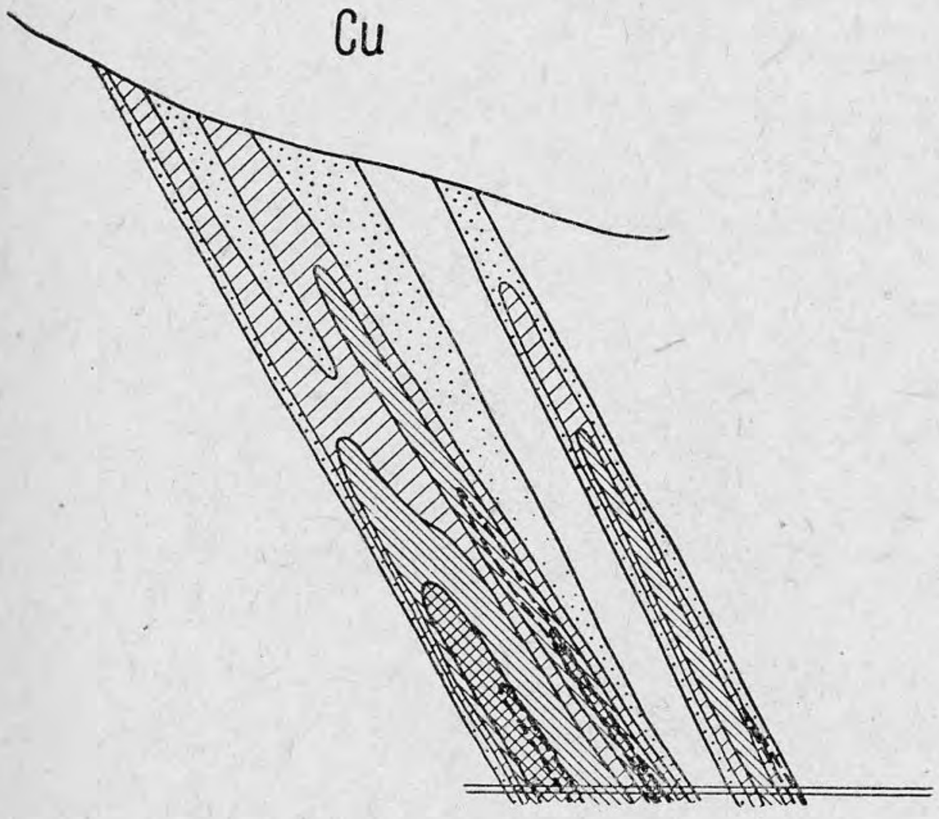
Геологический разрез

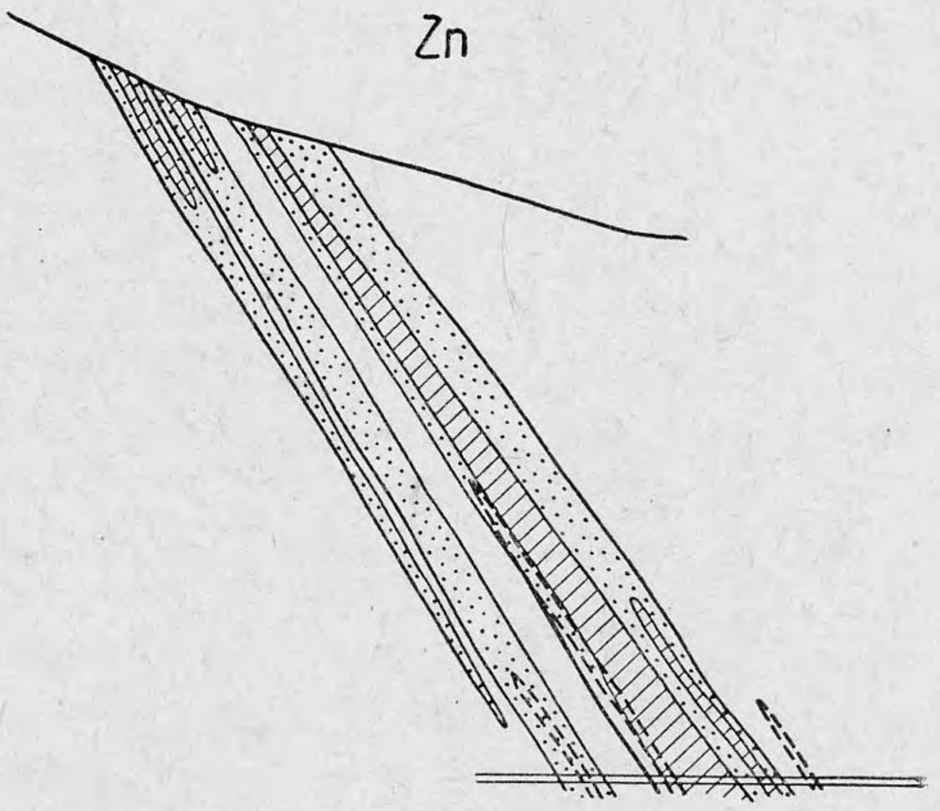












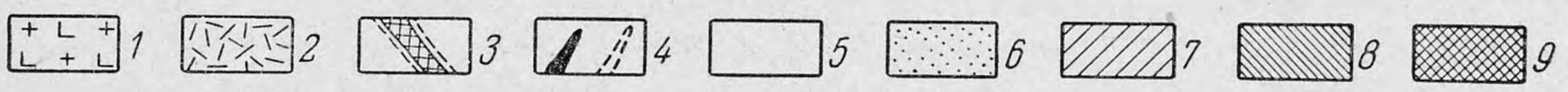


Рис. 10. Ореолы вокруг урановых рудных тел, приуроченных к четким тектоническим нарушениям в гранодиоритах (по В. М. Константинову)

1 — гранодиориты; *2* — фельзиты; *3* — тектонические нарушения; *4* — рудные тела и контуры их. Содержание элементов в породах, *гф.*: *5* — менее 3; *6* — от 3 до 10; *7* — от 10 до 30; *8* — от 30 до 100; *9* — более 100

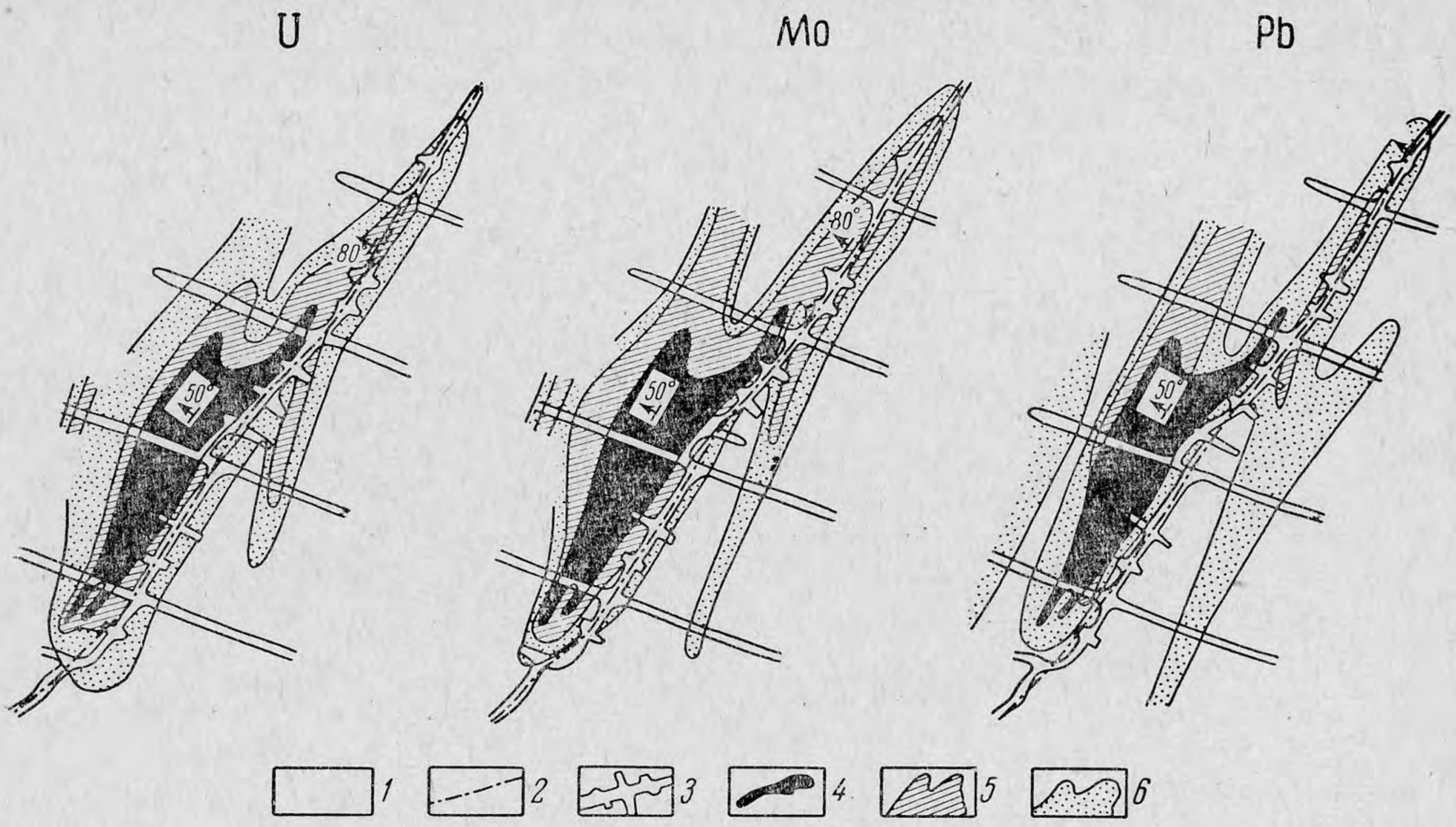


Рис. 11. Месторождение VI. Ореолы вокруг уранового рудного тела в плане (по В. Н. Тулину)

1 — фельзиты; *2* — тектонические нарушения; *3* — подземные горные выработки; *4* — рудные тела. Содержание элементов в ореоле, *гф*: *5* — более 10; *6* — от 3 до 10

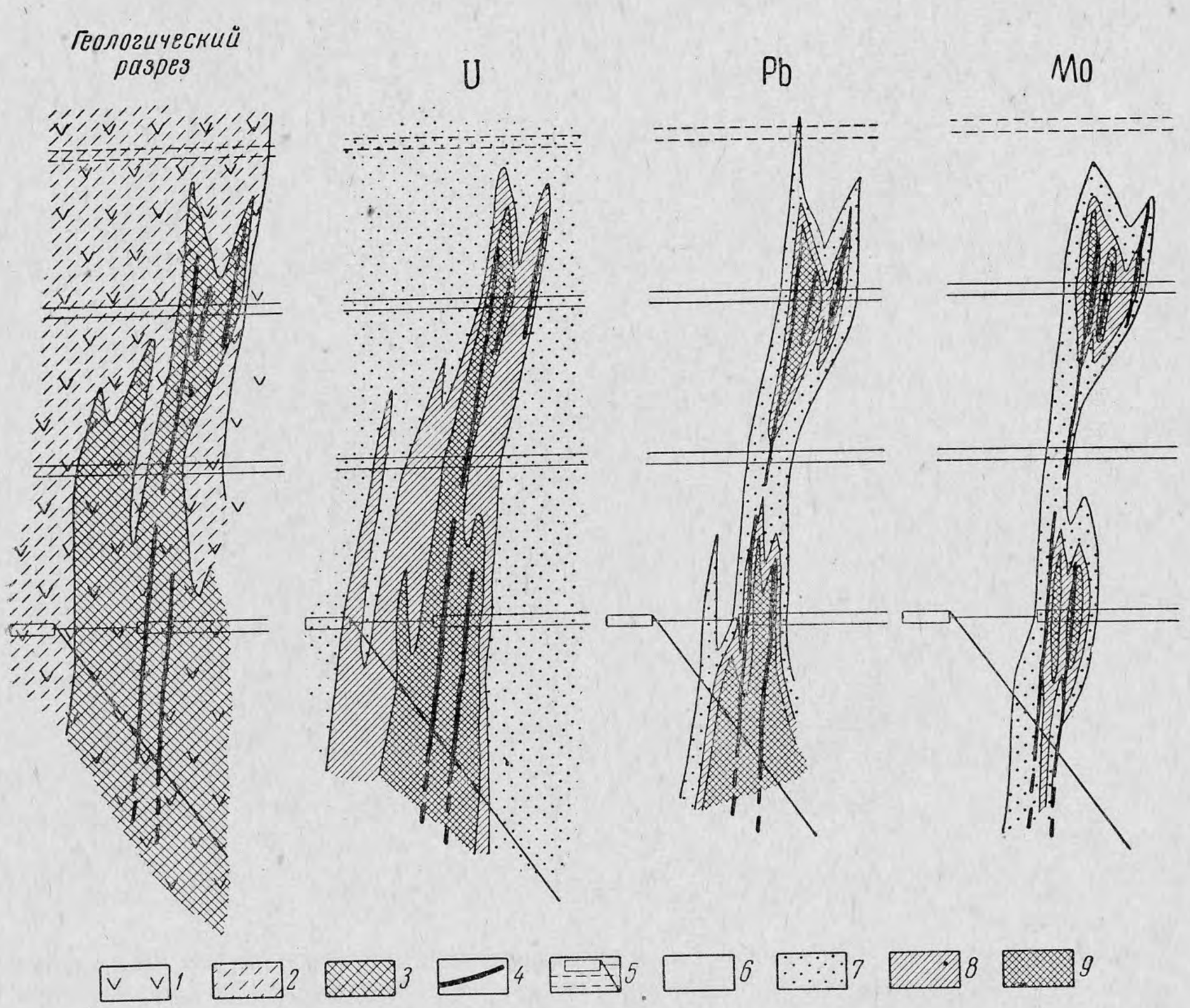


Рис. 12. Ореолы вокруг небольших по размерам кулисообразных урановых рудных тел (по Э. Н. Баранову)

1 — кварцевые порфиры; *2* — слабо осветленные породы; *3* — интенсивно осветленные породы; *4* — рудные тела; *5* — горные выработки, их проекции и скважины подземного бурения. Содержание элементов в породах, *гф*: *6* — менее 2; *7* — от 2 до 20; *8* — от 20 до 50; *9* — более 50

ореолов шести сравнительно хорошо разведанных урановых месторождений и рудопроявлений, располагающихся в пяти различных рудных районах. Эти данные позволяют судить о глубине, на которой могут быть зафиксированы по их ореолам скрытые урановые рудные тела. Из табл. 6 видно, что наиболее протяженные по восстанию ореолы главных элементов (U, Pb, Mo) развиваются над более крупными и богатыми рудными телами (месторождения I, IV). Мелкие тела характеризуются менее протяженными по восстанию ореолами (месторождение VI и участок 6).

Таблица 6

Протяженнность ореолов урана, свинца и молибдена по восстанию над рудными телами различных урановых месторождений

№ рудного района	Месторождения, рудопроявления	Характеристика рудных тел	Углы падения рудных тел, град.	Вертикальная протяженность ореолов, *м*
I	I	Протяженные, богатые рудные тела большой мощности в трещинных зонах	80—85	От 50 над мелкими телами до 270 над крупными рудными зонами
II	IV	Протяженные рудные тела несколько меньшей мощности и с меньшим содержанием урана	65	160—200
III	VI	Короткие по падению линзовидные тела	30	60—80
III	VII	Мощные рудные тела с контрастными рудами	40—50	80—160
IV	VIII	Мелкие линзовидные тела, приуроченные к мощным зонам дробления с резко контрастными рудами	85	100—120
V	Участок 6 (рудопроявление)	Мелкие линзовидные тела с низким содержанием урана	80	70—100

На месторождении I ореолы, развивающиеся около группы сближенных рудных тел, по своим размерам в несколько раз превышают ореолы около отдельного рудного тела. Протяженность ореолов над мелкими рудными телами на этом месторождении не превышает 40—60 *м*, тогда как над более крупными телами ореолы развиваются на 100—150 *м* и более.

Такие элементы, как серебро, цинк, на изученных месторождениях образуют небольшие по протяженности ореолы над скрытыми урановыми рудными телами. Так, на месторождении I (см. рис. 3) они прослеживаются по восстанию только на 100—120 *м* выше рудных тел, в то время как ореолы главных элементов достигают по восстанию над телом 200—270 *м*. Ниже рудных тел прослеживаются лишь ореолы урана и меди, реже молибдена. Ореолы других элементов выклиниваются вблизи нижних частей рудных тел (см. рис. 3, 5, 7, 12).

Размеры ореолов, как показывает опыт их изучения, зависят от целого ряда факторов. Среди них ведущими являются структурные условия локализации рудных тел и параметры этих рудных тел — их размеры и содержания элементов. Влияние структурных условий локализации рудных тел на размеры ореолов, образующихся вокруг них, проявляется в том, что около рудных тел, представленных прожилковыми и вкрапленными зонами, как правило, устанавливаются бóльшие по размерам и интенсивные ореолы (см. рис. 3, 4, 9), чем около рудных тел жильного типа, залегающих в относительно монолитных породах (см. рис. 10).

Зависимость размеров ореолов отдельных элементов от концентрации их в рудных телах на изученных месторождениях проявляется прежде всего в том, что такие элементы, как серебро, цинк и иногда медь, присутствующие в рудах в незначительных концентрациях, образуют гораздо меньшие

по размерам ореолы, чем ведущие компоненты руд (уран, свинец и молибден). Эта зависимость наиболее ярко проявляется при рассмотрении коэффициентов концентрации элементов — содержаний, выраженных в единицах кларка данного элемента (табл. 7).

Сопоставление приведенных в табл. 7 значений коэффициентов концентрации элементов в рудных телах месторождений I и IV с размерами их ореолов (см. рис. 3, 4) показывает, что указанные параметры находятся в прямой зависимости, т. е. чем больше концентрация элемента в рудном теле, тем шире и протяженнее его ореол. Аналогичная зависимость имеет место и на месторождениях других формаций (Сергеев, Поярков, Радкевич «Геохимические методы поисковых рудных месторождений в СССР», Госгеолтехиздат, 1957) и может быть использована для оценки выявленных ореолов, но лишь при учете всей совокупности геологических факторов.

Таблица 7

Значение коэффициентов концентрации элементов для урановых месторождений

Элементы	Коэффициенты концентрации элементов	
	Месторождение I	Месторождение IV
Уран	370	160
Свинец	220	70
Молибден	100	30

Определенное влияние на распределение элементов, а следовательно и на размеры их ореолов, оказывают и физико-химические условия формирования месторождений (температура, давление, pH и Eh гидротермальных растворов и т. д.).

Способность элементов к рассеиванию во многом определяется свойствами самих элементов (внутренними геохимическими факторами, по А. Е. Ферсману). Некоторые исследователи придают большое значение величине ионных радиусов элементов и их комплексных ионов как важным факторам их миграции. Однако, как показывает опыт, размеры ореолов хорошо согласуются с величинами относительных концентраций элементов в рудных телах, которые отличаются в десятки, иногда сотни раз, а величины ионных радиусов рудообразующих элементов изменяются в несравненно более узких пределах.

Более очевидна зависимость между распределением некоторых элементов в ореолах и их летучестью (упругостью паров). Роль летучести элемента убедительно показана рядом исследователей на примере ртути (Сауков, 1946; Вершковская, 1956; Фурсов, 1958 и др.). Особенности распределения мышьяка, ртути и таллия в ореолах некоторых урановых рудных тел, выражающиеся в их преимущественной по сравнению с другими элементами концентрации над рудными телами, по нашему мнению, можно объяснить высокой летучестью соединений этих элементов.

На месторождении I пиритизированные породы, которые фиксируют собой ореолы серы, широко распространены над рудными телами и резко выклиниваются ниже их. Такое положение зон пиритизации относительно рудных тел также, по-видимому, обусловлено высокой летучестью сероводорода. Влияния летучести на миграцию элементов, а следовательно и на размеры их ореолов, можно ожидать не только для ртути, мышьяка, таллия и серы, но и для таких элементов, как фтор, бор, висмут, сурьма, молибден, селен, теллур, многие соединения которых легколетучи.

4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРЕОЛАХ И ИХ ЗОНАЛЬНОСТЬ

Распределение концентраций элементов в рудовмещающих породах в пределах первичных ореолов неравномерно. Наиболее высокие содержания всех элементов устанавливаются в рудном поле и в непосредственной близости от него. Исключением является распределение свинца, содержание и особенно количество (метропроцент) которого в ореоле над урановым

рудным телом по восстанию часто более высоко, чем в самом рудном теле (см. рис. 3, 4, 5). Второе исключение — распределение мышьяка, встречающегося на некоторых урановых месторождениях в более высоких концентрациях в гидротермально измененных породах, на некотором удалении (10—20 *м*) от рудного тела, чаще в сторону висячего бока. В раздробленном и глинистом материале тектонических трещин содержания элементов в 2—4 раза выше чем в монолитных породах.

Как известно, для характеристики степени неравномерности распределения содержаний элементов в рудном теле широко используется величина коэффициента вариации V. Этот коэффициент описан во всех курсах методики разведки и подсчета запасов и выражается в виде отношения

$$V = \frac{\sigma}{C} 100\%,$$

где σ — среднеквадратичное отклонение для всей совокупности рассматриваемых проб, выраженное в единицах содержания;

C — среднее содержание элемента для той же совокупности проб.

Величина коэффициента вариации зависит от применяемой системы опробования и для одного и того же интервала рудного тела является минимальной при валовом и максимальной при точечном опробовании. Существенным недостатком коэффициента вариации, на который обращали внимание В. Г. Соловьев (1939), К. Л. Пожарицкий (1939) является то, что он отражает только уровень, но не характер изменчивости, так как при его вычислении не учитывается взаимное расположение проб.

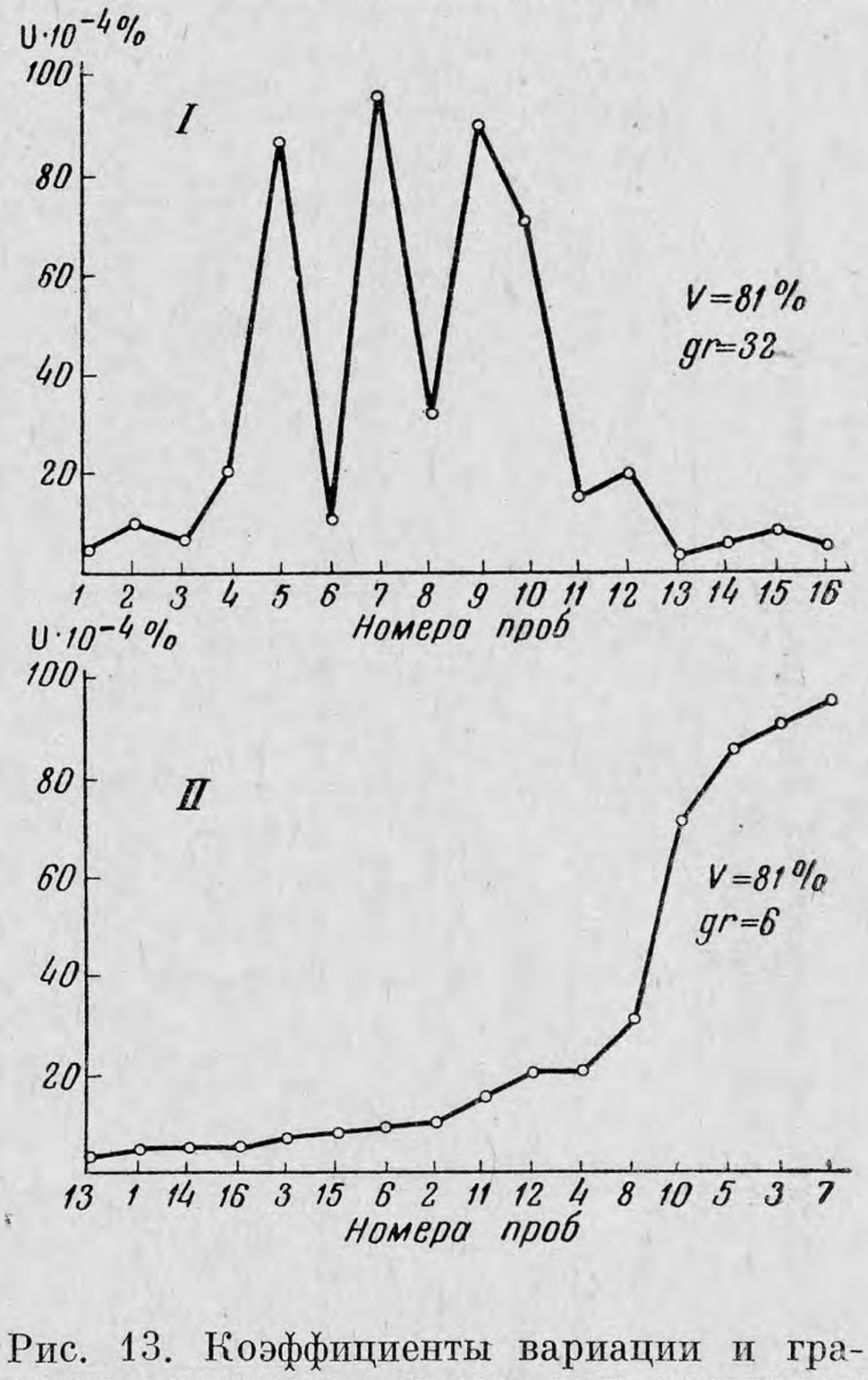


Рис. 13. Коэффициенты вариации и градиент содержания урана при различном характере распределения элемента (по Н. Н. Сочеванову)

I — кривая содержания урана с фактическим расположением по квершлагу; *II* — кривая содержания урана с расположением проб в порядке увеличения содержания; *V* — коэффициент вариации; *gr* — средняя разность содержаний, отнесенная к шагу опробования

На рис. 13 приведены графики распределения урана в ореоле, построенные по результатам опробования одного из квершлагов. График *I* характеризует весьма неравномерное распределение урана в пределах ореола. График *II*, построенный по данным анализа тех же проб, но расположенных не в порядке их отбора по квершлагу, а по увеличению содержания урана, свидетельствует о более равномерном распределении последнего. В то же время коэффициент вариации содержания урана, подсчитанный для обоих вариантов расположения проб, одинаков.

Н. Н. Сочеванов (1961) предложил использовать в качестве критерия неравномерности распределения элемента величину градиента содержания, которая определяется разностью содержания элемента (абсолютные значения) между каждыми двумя соседними пробами в пределах ореола по данному пересечению. Далее находится среднее арифметическое значение этой величины, которое делится на среднее расстояние между центрами проб в метрах. В итоге получается величина среднего градиента

Таблица 8

Значения коэффициентов вариации и градиентов содержаний элементов в первичных ореолах
(при 5-метровой длине проб)

Положение ореолов	Коэффициент вариации, %				Градиент содержания, $n \cdot 10^{-4}$ %/м			
	Уран		Свинец		Уран		Свинец	
	от—до	сред.	от—до	сред.	от—до	сред.	от—до	сред.
На горизонте развития рудных тел	106—405	193	160—234	148	8—48	26	2—500	130
Над скрытыми рудными телами	48—94	69	59—125	90	0,1—4	1,9	1—4	1,2

Положение ореолов	Молибден		Молибден		Коэффициент вариации, %		Градиент содержания, $n \cdot 10^{-4}$ %/м	
	от—до	сред.	от—до	сред.	от—до	сред.	от—до	сред.
На горизонте развития рудных тел	8—570	204	12—550	162	46—145	102	44—126	70
Над скрытыми рудными телами	8—570	204	12—550	162	106—405	193	48—94	69

изменения содержания на единицу расстояния — $\Delta C/\Delta l$, имеющая размерность %/*м*.

Для сопоставления значений градиентов разных элементов, присутствующих в ореолах, можно использовать отношение среднего градиента изменения содержания данного элемента к среднему его содержанию в конкретном пересечении или отношение первого к геохимическому фону данного элемента. Указанные отношения являются более контрастными. Графики *I* и *II* (см. рис. 13) при одинаковом коэффициенте вариации *V* по величине среднего градиента содержания урана отличаются более чем в 5 раз.

На рис. 14 приведены данные анализов проб, отобранных по двум штольням, пройденным вкрест простирания рудоносной зоны одного из урановых месторождений. Опробование проведено непрерывными пунктирными бороздами метровой длины. Данные анализов метровых проб объединены в группы из двух, трех, четырех и шести соседних проб, т. е. получены кривые распределения содержания урана, которые имели бы место при длине пробы 2, 3, 4 и 6 *м*. При этом видно, как постепенно происходит сглаживание кривых распределения.

Как следует из этих данных (рис. 15), при увеличении интервала опробования в 6 раз коэффициент вариации содержания *V* в ореоле уменьшается в 1,5—2,5 раза, а градиент содержания (gr) — в 4—10 раз. Для фонового содержания (за пределами ореола) коэффициент вариации и градиент содержания очень малы, и при объединении проб они изменяются незначительно. Следовательно можно сделать вывод, что для получения более плавных кривых распределения содержаний элементов в ореолах необходимо увеличивать длину интервала проб, и сопоставление данных о степени неравномерности производить только при совершенно одинаковых условиях опробования.

Данные подсчетов коэффициентов вариации и градиентов содержания в ореолах на шести урановых месторождениях по подземным выработкам и скважинам сведены в табл. 8. Значения коэффициентов вариации свидетель-

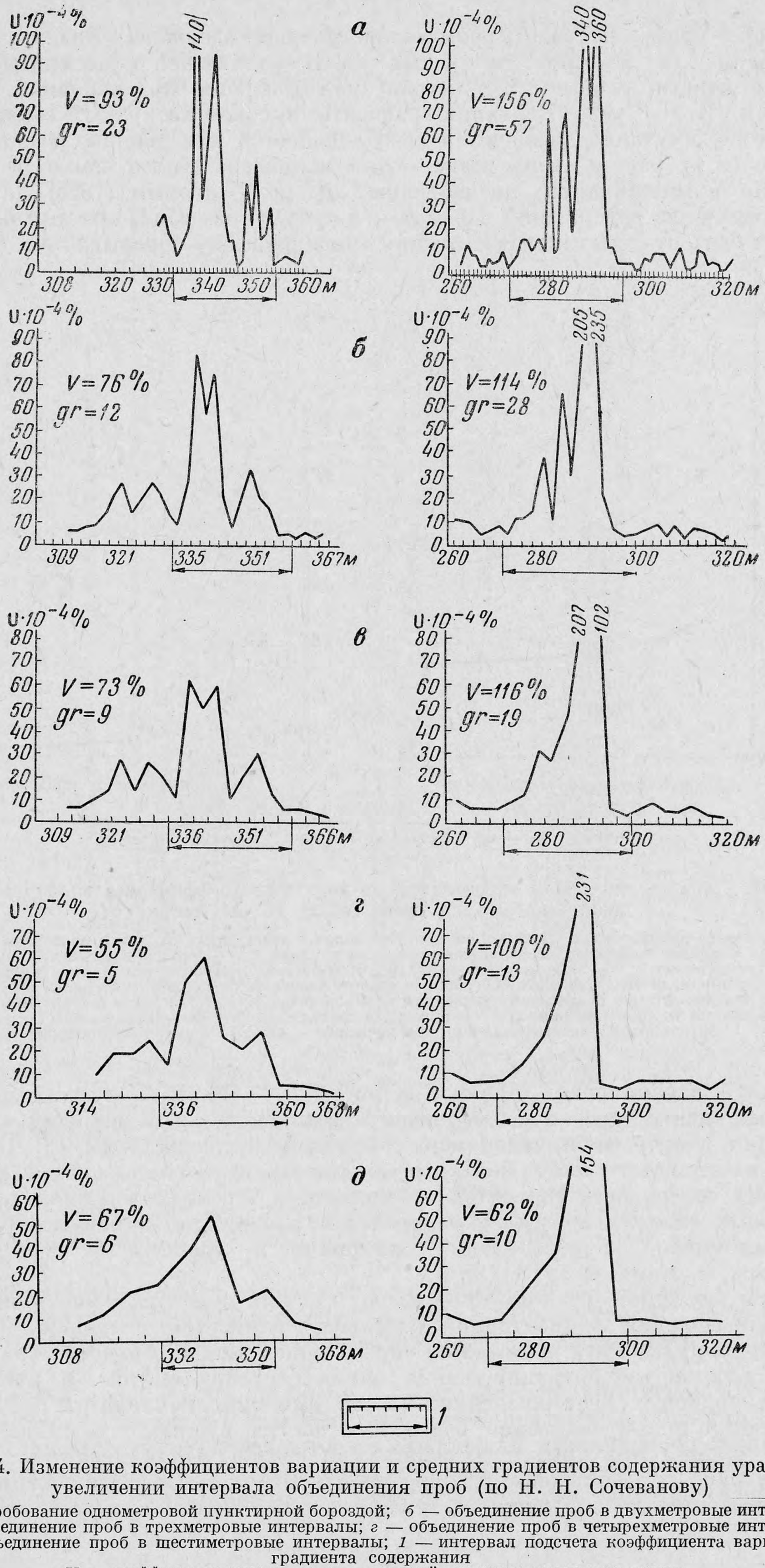


Рис. 14. Изменение коэффициентов вариации и средних градиентов содержания урана при увеличении интервала объединения проб (по Н. Н. Сочеванову)

а — опробование однометровой пунктирной бороздой; *б* — объединение проб в двухметровые интервалы; *в* — объединение проб в трехметровые интервалы; *г* — объединение проб в четырехметровые интервалы; *д* — объединение проб в шестиметровые интервалы; *1* — интервал подсчета коэффициента вариации и градиента содержания

V — коэффициент вариации; *gr* — средний градиент содержания урана

ствуют о крайне неравномерном распределении содержаний урана и молибдена в ореолах на горизонте рудных тел. В ореолах над скрытыми рудными телами неравномерность, характеризуемая коэффициентом вариации, уменьшается в 1,5—3 раза. Величина градиента, высокая на рудных горизонтах, вверх по восстанию незначительно уменьшается для свинца, резко — для урана (в 17 раз) и очень резко — для молибдена (более чем в 100 раз).

По классификации, предложенной Д. А. Зенковым (1955) для руд, распределение содержаний элементов в ореолах на горизонте рудных тел может быть отнесено к третьему типу изменчивости — прерывистой, скачко-

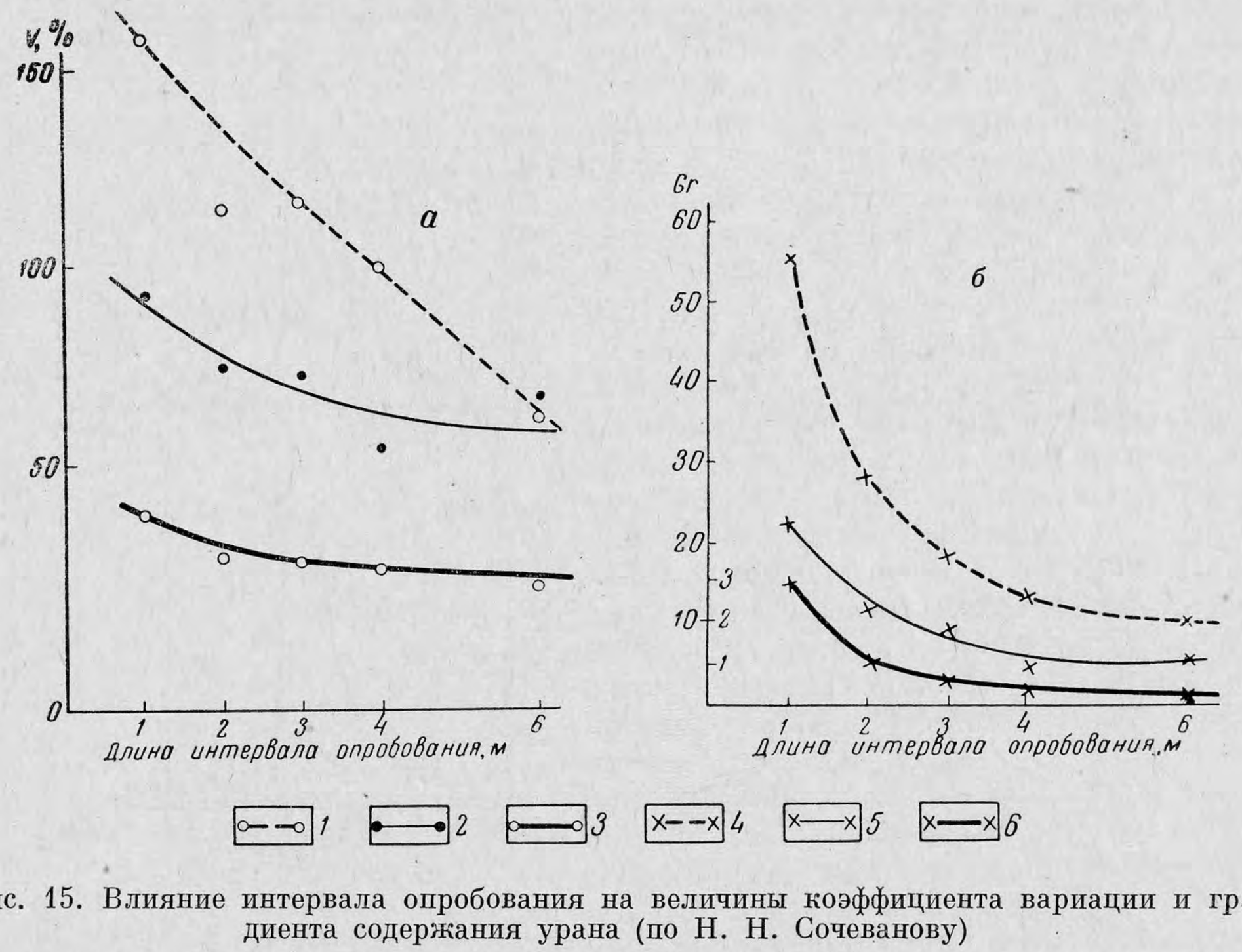


Рис. 15. Влияние интервала опробования на величины коэффициента вариации и градиента содержания урана (по Н. Н. Сочеванову)

а — изменение коэффициента вариации содержания урана в зависимости от длины интервала опробования: *1* — кривая величины *V* содержания урана для штольни 5; *2* — кривая величины *V* содержания урана для штольни 2; *3* — кривая величины *V* для геохимического фона урана штолен 2 и 5; *б* — изменение величины градиента содержания урана в зависимости от длины интервала опробования: *4* — кривая для средних градиентов содержания урана по штольне 5; *5* — кривая для средних градиентов содержания урана по штольне 2; *6* — кривая для средних градиентов геохимического фона урана по штольням 2 и 5 (построена в другом масштабе — цифры справа от оси ординат)

образной, закономерной (прилож. 6, листы 5, 6, 16). В надрудных интервалах первичных ореолов изменчивость приближается к первому типу — плавной, непрерывной, закономерной (прилож. 6, листы 11, 12, 13). К этому типу изменчивости могут быть отнесены полностью только кривые распределения содержаний элементов во вторичных ореолах элювиально-делювиальных отложений, где на распределение элементов накладывается еще дополнительное перемешивание материала в процессе его рассеяния (прилож. 6, листы 4, 5, 18, 19).

При изучении ореолов установлено, что для некоторых месторождений в распределении концентраций отдельных элементов в породах вокруг урановых рудных тел выявляется определенная закономерность. Так, наиболее высокие концентрации свинца, цинка и серебра (см. рис. 3), а на некоторых урановых месторождениях также мышьяка, таллия, ртути устанавливаются преимущественно в верхних частях рудных тел и над ними. Ниже рудных тел ореолы указанных элементов выклиниваются.

На рис. 16 изображены в поперечном вертикальном разрезе схематизированные ореолы подвижного урана и основных элементов-спутников

урана — свинца и молибдена — вокруг уранового рудного тела в кварцевых порфирах. Как видно из этого рисунка, над рудным телом концентрация свинца в пределах ореолов уменьшается постепенно, и даже при удалении до 270 *м* от верхней границы рудного тела она составляет 10 *гф*. Ниже рудного тела ореол свинца вообще выклинивается. В то же время концентрация

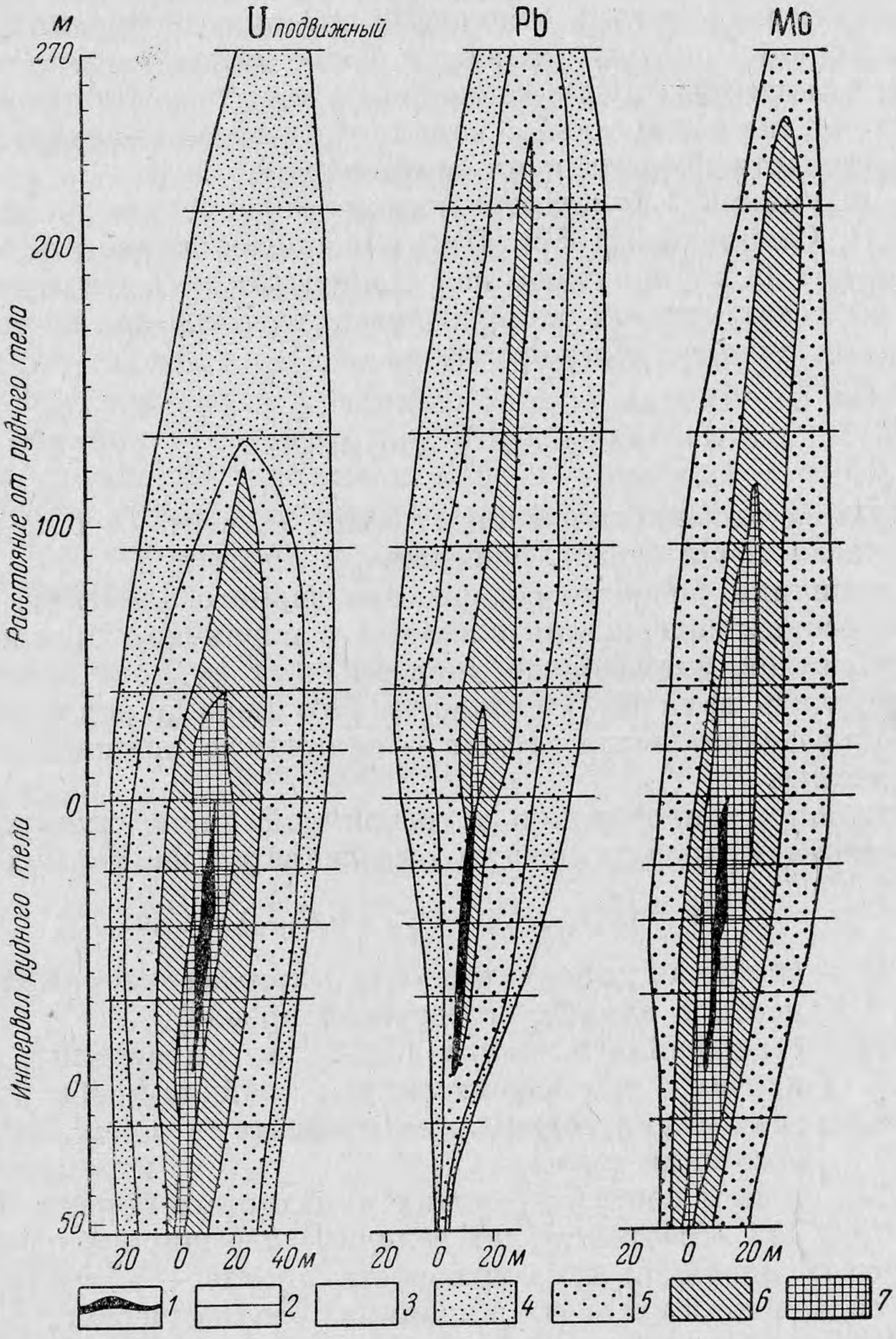


Рис. 16. Обобщенные данные по ореолам вокруг уранового рудного тела в поперечном вертикальном разрезе (по Г. И. Вертепову)

1 — рудное тело; *2* — горизонты опробования. Содержание элементов в ореолах; *3* — урана 1,5 *гф* и менее ($2{,}8 \cdot 10^{-5}$ % и менее), свинца 2 *гф* и менее (0,06 % и менее), молибдена 5 *гф* и менее ($2{,}5 \cdot 10^{-3}$ % и менее); *4* — урана от 1,5 до 5 *гф*, свинца от 2 до 5 *гф*; *5* — урана от 5 до 20 *гф*, свинца от 5 до 20 *гф*, молибдена от 5 до 20 *гф*; *6* — урана от 20 до 50 *гф*, свинца от 20 до 50 *гф*, молибдена от 20 до 50 *гф*; *7* — урана от 50 *гф* и более, свинца от 50 *гф* и более, молибдена от 50 *гф* и более

подвижного урана вверх от рудного тела падает до 1,5—5 *гф* на более коротком интервале, не превышающем 120—130 *м*. Ниже рудного тела ореолы урана и молибдена, в отличие от ореола свинца, прослеживаются на десятки метров.

В связи с зональным строением общего ореола (комплекса элементов) закономерно изменяются величины отношений средних содержаний элементов и линейных продуктивностей их ореолов на различных уровнях относительно рудного тела. Если среднее содержание элемента в данном пересечении ореола характеризует главным образом качественную

сторону процесса привноса и отложения его гидротермальными растворами, то произведение среднего содержания данного элемента на ширину его ореола, называемое продуктивностью ореола, характеризует количество привнесенного в породы элемента в данном сечении. При использовании отношения средних содержаний элементов в ореоле не учитывается, что ореолы разных элементов вокруг рудного тела имеют различную ширину. В связи с этим кривые отношений средних содержаний элементов на различных уровнях ореола являются более сглаженными по сравнению с кривыми отношений продуктивностей элементов. Поэтому далее везде для характеристики вертикальной зональности ореолов используются линейные продуктивности ореолов и их соотношения.

Понятие о суммарном количестве металла в ореоле (его продуктивности M) введено А. П. Солововым (1952). При равноинтервальном опробовании эта величина может быть получена как произведение шага пробоотбора Δx на сумму всех аномальных концентраций металла по данному профилю за вычетом величины «местного» фона

$$M = \Delta x\left(\sum^{n} C - nC_{\Phi}\right),$$

где $\sum^{n} C$ — сумма аномальных концентраций элемента от 1 до n;

n — число точек (проб), вошедших в подсчет;

C_{Φ} — величина фонового содержания данного элемента.

При невысоком содержании элемента в первичном ореоле, что характерно для участков, значительно удаленных от рудного тела, важно правильно определить величину геохимического фона и исключить ее, чтобы получить только аномальный эффект — количество привнесенного элемента в данном сечении.

При сплошном опробовании и различной длине пунктирных борозд величина линейной продуктивности определяется по формуле

$$M = (C_1 l_1 + C_2 l_2 + \ldots + C_n l_n) = C_{\Phi} a,$$

где M — линейная продуктивность (привнесенное количество элемента в данном пересечении ореола);

$C_1, C_2, \ldots, C_n$ — содержания в точках $1, 2, \ldots n$, выраженные в процентах, причем 1 и n характеризуют крайние пробы с аномальными значениями содержания элемента в пределах данного пересечения ореола;

$l_1, l_2, \ldots, l_n$ — длины соответствующих пунктирных борозд; сумма значений l соответствует величине a — ширине ореола, *м*.

Размерность линейной продуктивности ореола — метропроцент, а при выражении содержания элемента в единицах геохимического фона — метрогеофон (*мгф*). Сумма произведений линейных продуктивностей, умноженных на линейный интервал влияния соответствующих выработок, дает возможность вычислить площадную продуктивность ореола P:

$$P = M_1 L_1 + M_2 L_2 + \ldots + M_n L_n,$$

где $L_1, L_2, \ldots, L_n$ — величины интервала влияния выработок, которые определяются как полусуммы расстояний до соседних выработок;

$M_1, M_2, \ldots, M_n$ — соответствующие им линейные продуктивности.

Площадная продуктивность имеет размерность $м^2\%$, а при делении на величину геохимического фона — $м^2гф$. Она может подсчитываться по каждому элементу для определенного горизонта или его части, а также для поверхности.

Примером месторождения с четко выраженной вертикальной зональностью ореолов может служить урановое месторождение VIII, расположенное в фельзитах. Рудные тела этого месторождения представляют собой

скрытые маломощные линзы с резко контрастными рудами. Распределение элементов здесь было изучено в породах на уровне верхней границы рудных тел (на разрезах принята за нуль) и в надрудных толщах (рис. 17). Увеличение линейных продуктивностей ореолов свинца, меди и частично молибдена в надрудных интервалах при одновременном уменьшении продуктивности урановых ореолов приводит к тому, что в 60—80 *м* выше рудных тел отношения продуктивностей ореолов свинца к урану, молибдена к урану и меди к урану достигают значений 6—10. На горизонте рудных тел эти отношения меньше 1, а молибдено-свинцовое отношение увеличивается по мере приближения к рудному телу.

В качестве второго примера зональности общего ореола может быть рассмотрено месторождение I, рудные тела которого приурочены к крутопадающим трещинным зонам, пересекающим эффузивы кислого состава. Данные о линейных продуктивностях ореолов и величинах их отношений на этом месторождении приведены в табл. 9. Для него, как и для ряда других урановых месторождений, можно считать установленным, что наибольшей линейной продуктивностью урановые ореолы характеризуются в средней части и на верхних горизонтах развития балансовых руд. Распределение молибдена в ореоле по вертикали вокруг урановых рудных тел близко к распределению урана с той лишь разницей, что уменьшение продуктивности молибденового ореола по восстанию происходит менее резко, чем у уранового ореола.

Таблица 9

Изменение величин линейных продуктивностей ореолов основных элементов и их отношений на месторождении I

Положение опробованного горизонта относительно рудных тел	Линейная продуктивность ореолов, *мгф*			Отношение линейных продуктивностей ореолов	
	урана	свинца	молибдена	свинца к урану	молибдена к урану
200—270 *м* выше верхней границы рудных тел	90—170	290—700	180—760	3,2—4,1	2—4,5
100 — 200 *м* выше верхней границы рудных тел	170—800	700—800	760—1200	1,0—4,1	1,5—4,5
От 0 до 100 *м* выше верхней границы рудных тел	800—2100	700—800[a]	1200—2100	0,3—1,0	1,0—2,0
Верхние горизонты урановых рудных тел . .	1900—2100	500—700	1900—2100	0,26—0,3	1,0—1,0
Нижние горизонты урановых рудных тел . .	1350—1900	80—500	1350—1900	0,06—0,26	1,0—1,0
От 0 до 50 *м* ниже нижней границы рудных тел	1000—1350	40—80	800—1350	0,04—0,06	0,8—1,0

[a] Максимум до 1150 в 40 *м* выше рудного тела.

Иным распределением относительно рудного тела характеризуется свинец: наиболее высокие продуктивности его ореола отмечаются в 40 *м* выше рудного тела. В пределах горизонта центральной части рудного тела продуктивность свинцового ореола уменьшается почти в 2 раза, а горизонта корней рудного тела — в 10—20 раз, т. е. ореолы свинца здесь практически исчезают. В результате отношения линейных продуктивностей ореолов свинца к урану и молибдена к урану изменяются соответственно от 4,1 и 4,5 в надрудных горизонтах до 0,06 и 1 ниже рудного тела.

Аналогично месторождению VIII, рассмотренному выше, здесь также по мере приближения к рудному телу увеличивается значение молибдено-

свинцового отношения продуктивностей: в надрудных горизонтах эта величина менее 2, в пределах горизонта рудного тела 2—5, на нижних горизонтах и ниже рудного тела 6—16. Однако величина молибдено-свинцового

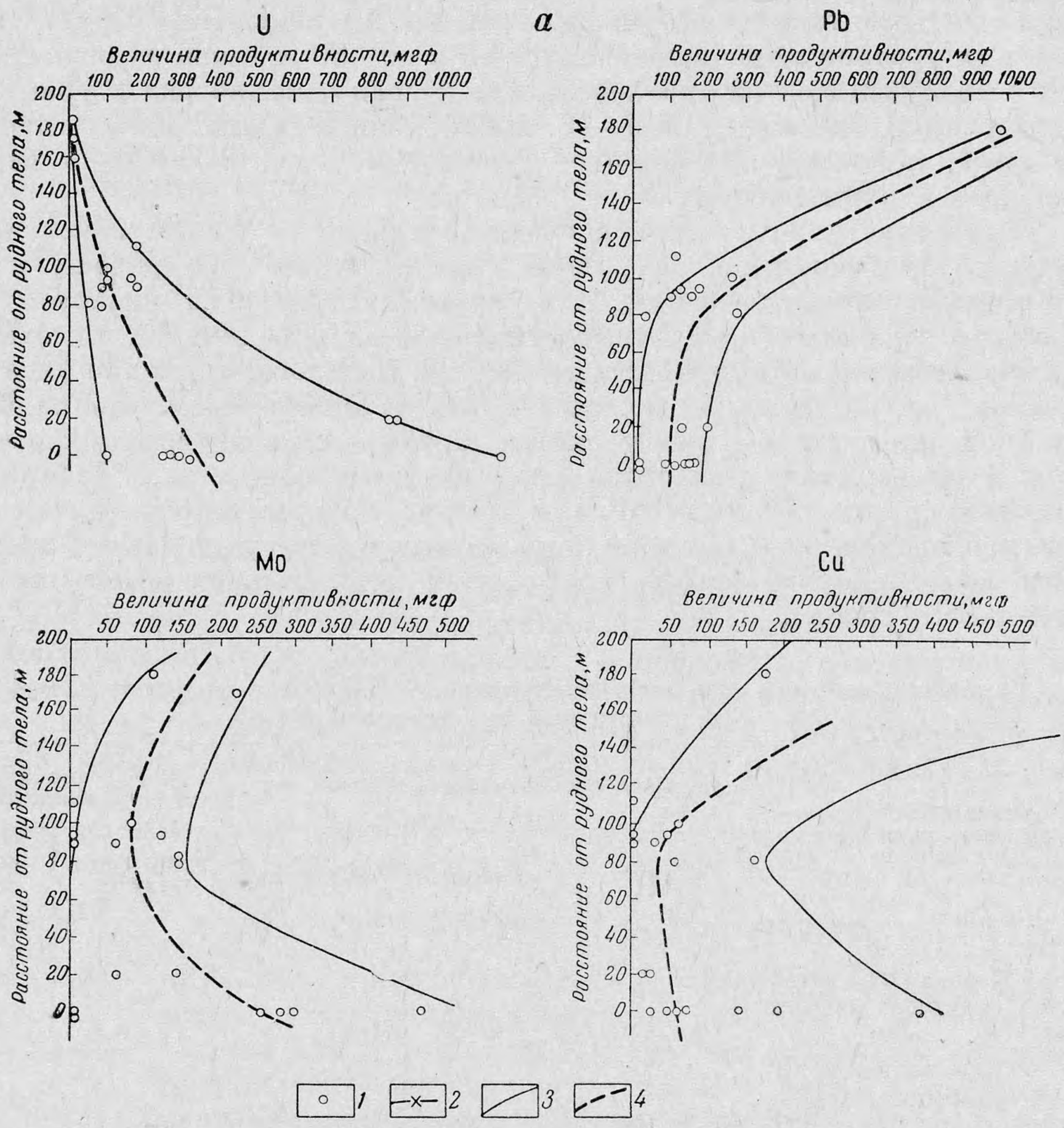


Рис. 17. Изменение продуктивностей ореолов различных элементов (*а*) и их отношений (*б*) в зависимости от расстояния до уранового рудного тела (по Н. Н. Сочеванову)

1 — точки наблюдений; *2* — средняя линия отношений средних значений продуктивностей ореолов; *3* — границы разброса точек; *4* — средняя линия значений продуктивностей ореолов.

отношения резко меняется для разных месторождений, в связи с чем ее значение для оценки глубины эрозионного среза рудных тел по ореолам невелико.

Данные о зональности ореолов на двух урановых месторождениях, дополненные сведениями по трем другим месторождениям и одному рудопроявлению урана, обобщены на рис. 18.* Следует подчеркнуть, что указанные месторождения расположены в четырех разных регионах, залегают в различных по составу породах и отличаются и по углам падения рудных тел (от 20 до 90°), и по размерам (от мелких линз до крупных рудных залежей). Несмотря на эти различия, полученные данные довольно близки друг к другу, особенно по свинцово-урановому отношению продуктивностей. Для всех изученных месторождений наблюдается закономерное уменьшение средних величин свинцово-уранового отношения от 2,5 на уровне 100 *м*

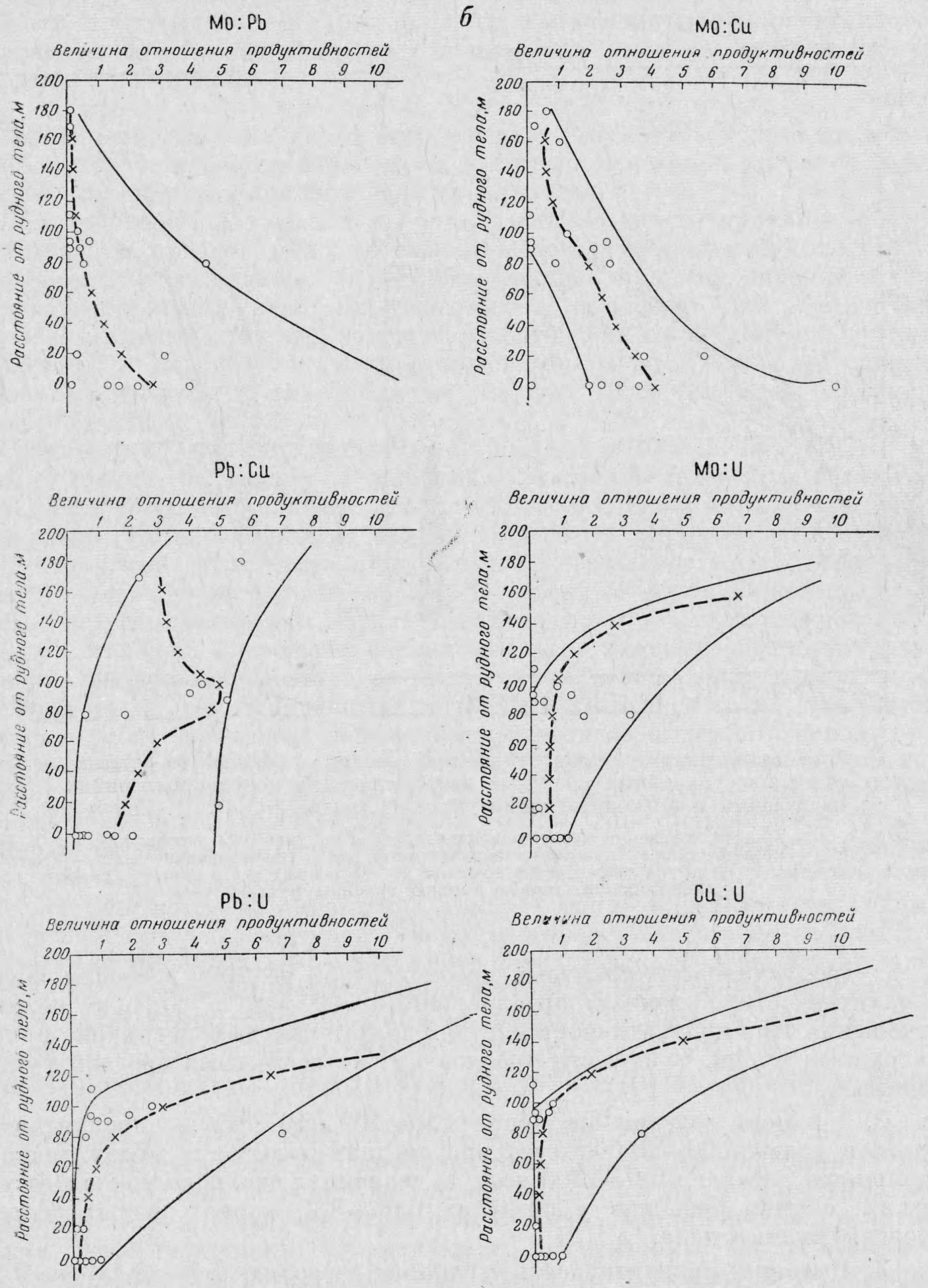
---

* За нулевой уровень глубины на рис. 18 условно принят уровень верхней границы рудного тела.

выше рудного тела до 0,3 в пределах его верхнего горизонта, и последующее уменьшение этой величины по падению рудного тела.

Аналогичная закономерность, но с менее резкими изменениями по вертикали и с бóльшими расхождениями данных для различных месторождений наблюдается для молибдено-уранового отношения (см. рис. 18).

б



Поэтому на изученных месторождениях в качестве более важного оценочного критерия ореолов рассматривается свинцово-урановое отношение. Закономерное выпадение больших количеств свинца выше рудных тел по сравнению с ураном, количественным выражением которого является увеличение свинцово-уранового отношения продуктивностей над скрытыми урановыми рудными телами, сейчас подтверждено в ряде районов и

рассматривается как широкая эмпирическая закономерность, характерная для гидротермальных собственно урановых месторождений.

Учитывая это, по величинам линейных продуктивностей ореолов свинца и урана и отношению между ними можно ориентировочно оценивать выявленные геохимические аномалии, руководствуясь следующими признаками:

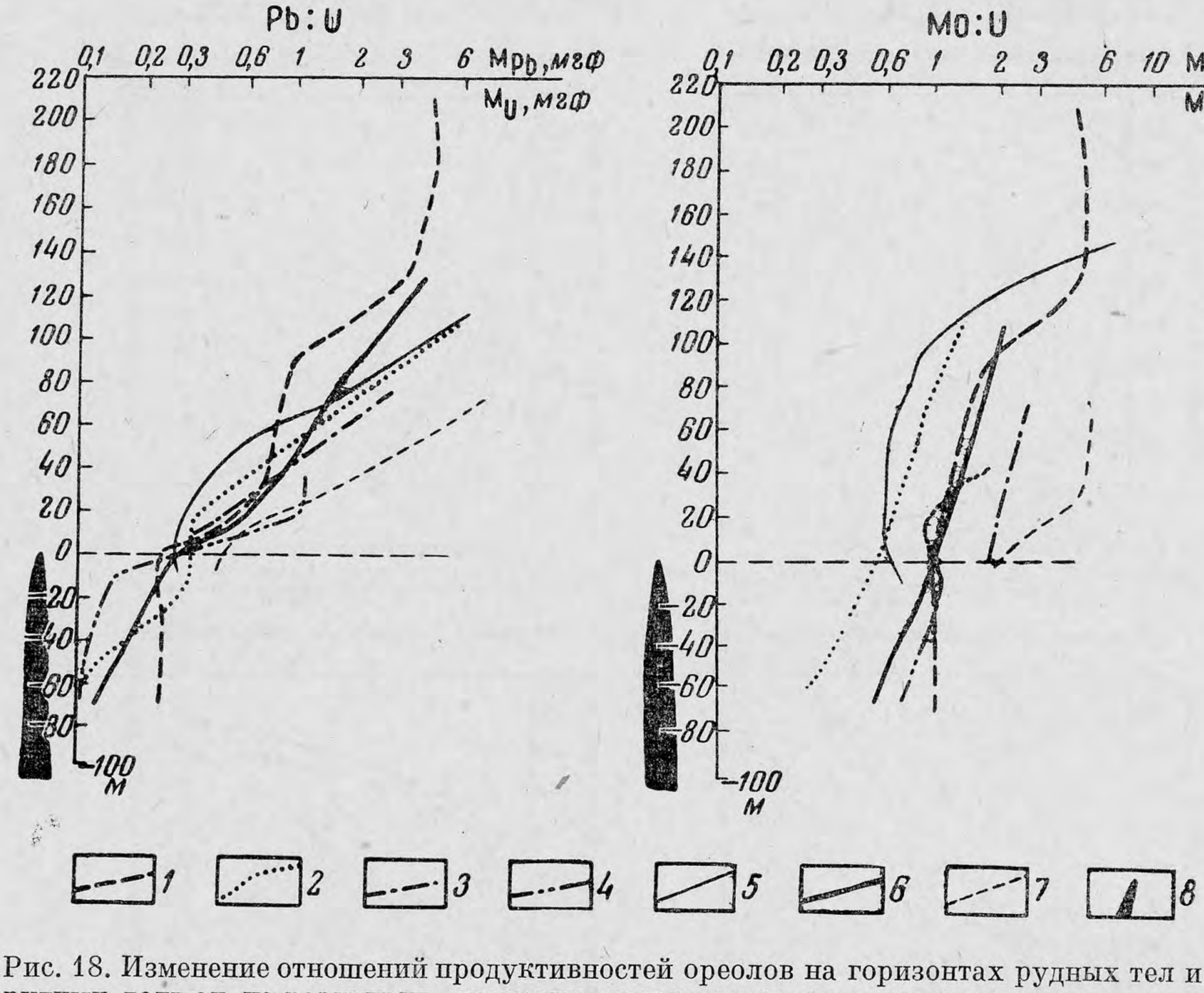


Рис. 18. Изменение отношений продуктивностей ореолов на горизонтах рудных тел и в надрудных толщах на различных урановых месторождениях и рудопроявлениях с пологопадающими и крутопадающими рудными телами (по Н. Н. Сочеванову)

1, 2, 3, 4, 5 — кривые отношений продуктивностей ореолов на урановых месторождениях I, IV, VI, VII и VIII; *6* — средняя линия отношений продуктивностей для пяти месторождений; *7* — кривая отношений продуктивностей на урановом рудопроявлении; *8* — рудное тело (за нулевой уровень глубины условно принят уровень верхней границы рудного тела)

1. Продуктивности урановых ореолов от 50 до 2000 *мгф* при высокой продуктивности свинцовых ореолов (400—5000 *мгф*) и большие величины отношения этих продуктивностей (от 0,3 до 10 и иногда более) характеризуют надрудные толщи, т. е. части ореолов над не вскрытыми эрозией рудными телами.

2. Высокие содержания (более $50—100 \cdot 10^{-4}\%$) и продуктивности ореолов урана (200—10 000 *мгф*) при средних и высоких продуктивностях свинцовых ореолов (100—2500 *мгф*) и величинах свинцово-уранового отношения, обычно лежащих в пределах 0,06—3,2, характеризуют вскрытые эрозией рудные тела.

3. Высокая продуктивность урановых ореолов (500—8000 *мгф*) при низких продуктивностях свинцовых ореолов (0—200 *мгф*) и величине свинцово-уранового отношения менее 0,1 характеризуют нижние горизонты (корни) урановых рудных тел. Аналогичные величины продуктивностей ореолов урана (от 200 до 15 000 *мгф*) и свинца (0—200 *мгф*) при еще более низком свинцово-урановом отношении ($\ll 0{,}1$) отмечаются над инфильтрационными и испарительными приповерхностными скоплениями урана. Таким образом корни рудных тел и приповерхностные скопления урана,

не имеющие перспектив на глубину, по геохимическим признакам не отличаются друг от друга.

4. Над свинцовыми рудопроявлениями отмечаются очень высокие содержания и продуктивности свинцовых и цинковых ореолов при полном отсутствии урана.

Характер кривых распределения урана, свинца и молибдена, величины линейных продуктивностей ореолов этих элементов, значения свинцово-уранового и молибдено-уранового отношений для разных месторождений приведены в прилож. 6.

Закономерности зонального распределения элементов в ореолах могут быть более эффективно использованы в случае поисков скрытых рудных тел, если установлены причины этой зональности.

Для некоторых изученных урановых месторождений причины зонального строения ореолов находят свое объяснение в различной летучести компонентов, участвовавших в рудообразовании. Наличие «шапок» ртути, мышьяка, таллия над урановыми рудными телами связано, как уже подчеркивалось, с высокой летучестью этих элементов или их соединений. Аналогичные «шапки» легколетучих элементов устанавливаются и на гидротермальных месторождениях других формаций (Фурсов, 1958; Сафронов, Поликарпочкин, Трушков, 1960).

Причиной образования «шапок» свинца, цинка и меди над урановыми рудными телами, по нашему представлению, является связь этих элементов с легколетучей серой. На некоторых урановых месторождениях, в частности, установлено, что развитый в надрудных горизонтах пирит замещается галенитом и другими сульфидами. Это указывает на определенную последовательность образования этих минералов. Образование более раннего по отношению к другим сульфидам пирита в надрудных горизонтах можно объяснить тем, что сера опережала свинец и другие элементы-спутники урана в едином процессе миграции компонентов. Сера, очевидно, в форме газообразного сероводорода, отделяясь от гидротермального раствора, проникала в верхние части трещинных зон, взаимодействовала с железом пород, преобразуя его в пирит. Растворы, содержащие свинец, цинк и медь, в условиях недостатка серы вступали в реакцию с пиритом, в результате чего последний замещался галенитом, сфалеритом и халькопиритом. Таким образом, распределение сульфидов в ореоле, по нашему мнению, обусловливается распределением легколетучей серы.

Уран, для которого характерна окисная форма нахождения в рудных телах и первичных ореолах эндогенных месторождений, не имеет сродства с серой и распределяется во вмещающих породах вокруг рудных тел более равномерно. Этим, вероятно, и объясняется описанная зональность в распределении урана и сопутствующих ему элементов в первичных ореолах.

5. СВЯЗЬ ОРЕОЛОВ С ОКОЛОРУДНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Имеющийся фактический материал и литературные данные по многочисленным гидротермальным месторождениям урана свидетельствуют о том, что урановые рудные тела всегда сопровождаются зонами гидротермально измененных пород. Наиболее характерными изменениями являются альбитизация, карбонатизация, хлоритизация, пиритизация, аргиллизация и березитизация. Для большинства урановых месторождений характерна также гематитизация, обусловливающая покраснение вмещающих пород. Следует отметить, что на различных урановых месторождениях в зависимости от геохимических особенностей их формирования преобладают те или иные типы изменения.

Измененные породы обычно располагаются зонально вокруг рудных тел или рудоносных трещинных зон. Интенсивность изменения вмещающих пород максимальна в непосредственной близости от рудных тел и

уменьшается по мере удаления от них. Зональное развитие околорудных изменений обусловлено многостадийностью процесса рудообразования, а также различной подвижностью компонентов при метасоматозе (Коржинский, 1953).

Первичные ореолы и околорудные изменения являются продуктами единого постмагматического процесса и таким образом генетически связаны. Вопросы связи ореолов с измененными породами детально рассмотрены в работе Е. М. Янишевского, С. В. Григоряна и др. (1963); здесь отмечены лишь основные положения.

Изменение вмещающих пород может предшествовать процессу рудоотложения, происходить одновременно с ним или после него. Наиболее простая связь между зонами околорудных изменений и эндогенными ореолами рудообразующих химических элементов устанавливается на месторождениях, сформированных преимущественно в одну стадию минералообразования. Примером является месторождение I, рудные тела которого приурочены к зонам дробления и трещиноватости в эффузивных и пирокластических породах кислого состава. Для этого месторождения характерно зональное распределение измененных пород около рудных тел. На контакте с рудными телами наблюдается аргиллизация, обусловленная развитием монтмориллонита. Мощность этой зоны колеблется от миллиметров до 5—10 *см*. Далее следует зона окварцевания мощностью в несколько десятков сантиметров. За зоной окварцевания идет зона альбитизации мощностью от нескольких метров до 10—15 *м*. Внешняя, наиболее обширная зона изменения представлена осветленными пиритизированными породами. Мощность ее достигает десятков метров в пределах верхних горизонтов рудных тел и не превышает первых метров — на нижних.

Осветление пород связано с их пиритизацией и объясняется, очевидно, воздействием растворов, содержащих соединения серы. Наиболее интенсивное осветление наблюдается вокруг вкрапленников пирита. Выше рудных тел проявляется аналогичная зональность, но протяженность зон изменения по восстанию значительно больше, чем вкрест простирания рудных тел.

Кроме указанных изменений, для месторождения характерно покраснение вмещающих пород, обусловленное их гематитизацией вблизи рудных трещин. Зоны покраснения мощностью до 2 *м* иногда прослеживаются на 100—140 *м*, а в отдельных случаях до 270 *м* выше рудных тел. Интенсивное покраснение пород вблизи трещин наблюдалось как выше, так и ниже рудных тел.

Ореолы сопутствующих урану элементов — свинца, молибдена, цинка и серебра, как правило, не выходят за пределы зоны осветления и пиритизации пород (см. рис. 3, 12). Максимальные их концентрации устанавливаются в зонах аргиллизации и альбитизации, где наблюдаются вкрапленники галенита. Ореолы подвижного урана пространственно совпадают с зонами осветления и пиритизации пород, однако размеры и конфигурация их обычно различны.

Участки покраснения пород вблизи рудоносных трещин характеризуются наиболее высокой концентрацией подвижного урана. При переходе от гематитизированных пород к осветленным содержание урана резко падает (обычно более чем в 10 раз). Для спутников урана такой закономерности не отмечается. На связь повышенной радиоактивности с участками покраснения пород на урановых месторождениях имеются указания в литературе (Everhart and Wright, 1953; Kerr, Robinson, 1953).

Следует отметить, что покраснение пород не всегда связано с радиоактивными рудами, иногда оно отмечается в контакте безурановых баритовых и магнетитовых жил, около зон альбитизации и т. д. С другой стороны, на некоторых урановых месторождениях околорудное покраснение пород иногда проявляется слабо или совсем отсутствует, хотя и здесь отмечаются ореолы с высоким содержанием урана.

Пространственная связь сопутствующих урану элементов с зонами осветленных и пиритизированных пород, являющихся по существу ореолами рассеяния серы, вероятнее всего объясняется сульфидной формой нахождения этих элементов в ореолах.

На месторождениях, где проявлено несколько стадий минерализации, взаимосвязь ореолов установить труднее из-за пространственного наложения изменений, связанных с различными стадиями. Например, на одном из месторождений, залегающем в кварцевых порфирах, где широко проявлена досмолковая сульфидная стадия минерализации, наблюдается отчетливая зависимость между интенсивностью изменения (серицитизации) пород и содержанием свинца в ореолах, образовавшихся в досмолковую стадию. Распределение концентраций урана и молибдена в ореолах, образовавшихся в смолковую стадию, не зависит от интенсивности серицитизации пород.

На урановом месторождении IV, рудные тела которого приурочены к тектоническим нарушениям в гранитах, проявлены дорудная стадия грейзенизации и последующая стадия, в течение которой сформировались урановые рудные тела. На этом месторождении зоны грейзенизации прослеживаются в виде узких полос вдоль трещин, а ореолы подвижного урана, свинца и молибдена имеют обычно значительно бóльшие размеры (см. рис. 4). В пределах этого рудного поля отмечаются зоны грейзенизации, в которых отсутствуют урановые рудные тела и ореолы урана, свинца и молибдена.

В заключение следует отметить, что чаще всего зоны гидротермально измененных пород и эндогенные ореолы урана и сопутствующих ему элементов близки по размерам. При этом ореолы рудообразующих элементов всегда связаны с измененными породами, в то время как зоны гидротермального изменения могут и не сопровождаться ореолами.

Выводы

Подводя итог описанию первичных ореолов урана и сопутствующих ему элементов вокруг урановых рудных тел на изученных месторождениях, можно сделать следующие основные выводы:

1. Вокруг урановых рудных тел в рудовмещающих породах устанавливаются отчетливые эндогенные ореолы урана, свинца, молибдена, цинка, меди и других элементов, которые входят в состав руд.

2. Одинаковый элементный состав рудных тел и ореолов, одинаковая форма нахождения элементов в рудных телах и вмещающих породах в пределах ореолов, присутствие одних и тех же элементов-примесей в минералах из рудных тел и ореолов, а также тесная связь ореолов химических элементов с зонами гидротермально измененных пород, сопровождающих минеральные комплексы смолковой стадии, — все это убедительно свидетельствует о прямой генетической связи рудных тел и ореолов рудообразующих элементов.

3. Проникновение рудных элементов от урановых тел во вмещающие породы происходит в основном по трещинам и зонам повышенной трещиноватости и пористости путем инфильтрации рудоносных растворов. Диффузия элементов имеет подчиненное значение и проявляется лишь вблизи тектонических трещин.

4. Ореолы по размерам во много раз превышают рудные тела. Чем выше концентрация элемента в рудном теле, тем больше, при прочих равных условиях, вертикальная протяженность и ширина ореола. Наиболее широкие и протяженные ореолы на изученных месторождениях образуют уран и сопутствующие ему свинец и молибден, в связи с чем они являются наиболее ценными элементами-индикаторами урановых рудных тел.

Благодаря значительной протяженности по восстанию над рудными телами ореолы указанных элементов могут быть успешно использованы при поисках урановых рудных тел, залегающих на глубине 100—200 *м*.

5. В строении общих ореолов, окаймляющих урановые рудные тела, устанавливается отчетливая вертикальная зональность, которая обусловлена тем, что ореолы некоторых элементов-спутников урана (свинца, серебра, мышьяка и др.) наиболее интенсивно развиваются на уровне верхних границ рудных тел и над ними, в отличие от ореолов урана, с одинаковой интенсивностью прослеживающихся как выше, так и ниже рудных тел. Причиной зональности является различная степень летучести и большая подвижность элементов, имеющих сродство с серой, по сравнению с элементами, образующими кислородные соединения.

Зональное строение ореолов и связанное с этой зональностью закономерное изменение величин свинцово-уранового и молибдено-уранового отношений продуктивностей на различных уровнях эрозионного среза ореолов может быть использовано в практике поисковых работ в качестве одного из признаков для оценки глубины вскрытия эрозией (или горными выработками) рудных тел и окружающих их ореолов.

6. Наличие широких ореолов химических элементов, характерных для гидротермального процесса (Pb, Mo, Cu, As и др.), развивающихся вокруг урановых рудных тел, позволяет производить оценку радиометрических аномалий и выделять из их числа наиболее перспективные, связанные с гидротермальными урановыми рудными телами.

7. Установленные закономерности распределения различных химических элементов вокруг урановых рудных тел могут быть использованы для оценки перспективности глубоких горизонтов при разведке месторождений и рационального направления разведочных выработок, а также при геохимическом опробовании рыхлых отложений с целью поисков скрытых рудных тел и оценки радиометрических аномалий.

8. Изучение распределения химических элементов во вмещающих породах и рудных телах может дать ценный дополнительный материал для познания условий формирования рудных тел и месторождений.

ГЛАВА II

ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ И ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ

I. ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ

Вторичные ореолы рассеяния месторождений представляют собой локальные участки современной или более древней коры выветривания и перекрывающих ее рыхлых отложений, которые тяготеют к верхним горизонтам месторождений и характеризуются повышенным содержанием рудных и сопутствующих им элементов, входящих в состав рудных тел или первичных ореолов.

Вторичные ореолы рассеяния по отношению к месторождениям являются эпигенетическими образованиями и развиваются в результате физического и химического выветривания месторождений и рассеяния рудного вещества. На глубине они примыкают к вскрытым эрозией ореолам месторождений и рудным телам и, таким образом, являются важным поисковым признаком эродированных и скрытых урановых рудных тел.

Общие закономерности формирования вторичных ореолов рассеяния

К настоящему времени накоплен обширный теоретический и фактический материал о закономерностях эпигенетического рассеяния химических элементов месторождений, изложенный в работах многих исследователей (Сафронов, 1936, 1957; Сергеев, 1941; Соловов, 1955, 1959; Красников, 1959; Перельман, Сауков, 1957; Перельман, 1961 и др.). Особую ценность по полноте рассмотрения вопросов теории формирования вторичных ореолов рассеяния представляет монография А. П. Соловова (1959).

Наиболее благоприятной средой для развития вторичных ореолов рассеяния являются элювиально-делювиальные отложения и развивающиеся на них почвы. Рассеяние вещества месторождения в этих отложениях происходит в твердой, жидкой и газовой фазах, поэтому по фазе агрегатного состояния вторичные ореолы рассеяния делятся на механические, солевые и газовые (Сафронов, 1936).

Механические ореолы рассеяния образуются в результате разрушения и перемещения вещества месторождения в твердой фазе. Этот процесс характерен для месторождений с устойчивыми первичными или вторичными минералами.

Солевые ореолы рассеяния возникают под влиянием химического выветривания и поэтому свойственны месторождениям, минералы которых легко растворяются и подвергаются рассеянию в жидкой фазе путем миграции элементов в водных растворах. Последующее выпадение элементов из растворов и частичное отложение их в форме устойчивых новообразований в перекрывающих рыхлых отложениях приводит к образованию солевых ореолов в твердой фазе.

Газовые ореолы рассеяния формируются под влиянием диффузии и эффузии элементов в газообразном состоянии по направлению к дневной

поверхности. При поисках урановых месторождений широко используются ореолы рассеяния радона и в опытном порядке ореолы рассеяния гелия *.

В природных условиях ореолы рассеяния урановых и других рудных месторождений в приповерхностной зоне литосферы редко образуются за счет рассеяния в одной фазе агрегатного состояния. Большинство минералов первичных ореолов в неизмененном виде сохраняется только в зоне первичных руд, лежащей ниже границы зоны окисления. В зоне окисления под действием атмосферных и подземных вод происходит изменение состава первичных ореолов, сопровождающееся растворением части рудообразующих минералов с последующим выносом и переотложением химических элементов.

В случае слабого развития зоны окисления или отсутствия ее минералы вскрытых эрозией первичных ореолов распределяются в элювиально-делювиальных отложениях, образуя механические ореолы рассеяния. Однако в рыхлых образованиях многие рудные минералы подвергаются химическому выветриванию, и входящие в них элементы мигрируют в почвенных растворах. Только в районах с резким преобладанием физического — морозного или пустынного — выветривания они могут оставаться неизменными, подвергаясь механическому рассеянию наравне с малоподвижными и устойчивыми минералами.

Обычно перенос химических элементов в растворе и их переотложение накладываются на механическое рассеяние устойчивых первичных минералов. Эндогенные урановые месторождения, рудные тела которых сложены урановой смолкой, сульфидами и продуктами их окисления, образуют в коре выветривания и рыхлых отложениях смешанные вторичные ореолы рассеяния урана и его элементов-спутников.

Соотношение механических и солевых компонентов в смешанных ореолах рассеяния определяется минералогическим составом руд и вмещающих пород, степенью их механической и химической устойчивости и растворимости в данных условиях, скоростью процессов окисления и эрозии, величиной pH и Eh среды, характером рельефа, климата и другими факторами. В целом формирование вторичных ореолов рассеяния в рыхлых отложениях зависит от ряда геологических и физико-географических факторов, совокупностью которых определяется геохимический ландшафт местности.

Под геохимическим ландшафтом понимается участок земной поверхности, отличающийся определенными условиями гипергенной миграции элементов. Каждому геохимическому ландшафту свойственны особые условия образования вторичных ореолов рассеяния, определяющие методику геохимических поисков.

А. И. Перельман (1961) выделяет следующие основные типы ландшафтов: а) сухие степи и пустыни, б) типичные степи, в) лесостепи и северные степи, г) лесные таежного типа, д) таежные без мерзлоты, е) таежно-мерзлотные, ж) горно-луговые. Особенности каждого из них во многом определяются климатической зональностью. Следует различать аридную и гумидную климатические зоны, характеризующиеся принципиально различными условиями гипергенной миграции элементов.

В аридной зоне в связи с недостатком влаги преобладает непромывной режим поверхностных отложений. Признаками его являются общая засоленность почв и грунтов, их карбонатность, наличие гипса и отсутствие железо-марганцовистых новообразований. Вынос металлов из верхнего слоя рыхлых отложений практически отсутствует, воды и почвы имеют слабощелочную и нейтральную реакции.

Для гумидной зоны характерны промывной режим, кислая реакция приповерхностных вод и почв, а также интенсивное выщелачивание ряда элементов из верхних горизонтов почвенного профиля с образованием под-

---

* Газовые ореолы в настоящем руководстве не рассматриваются.

золов. В горных районах с резко расчлененным рельефом высокая скорость денудации нивелирует различия в условиях миграции элементов.

Выщелачивание элементов из горных пород происходит в результате процессов химического выветривания, интенсивность которых зависит прежде всего от температурного режима и влажности климата. В сухом климате процессы выщелачивания и выноса элементов ограничены недостатком влаги, в умеренных широтах — недостатком тепла. Наиболее интенсивны процессы выщелачивания в теплом и влажном климате и резко ослаблены — в условиях Крайнего Севера.

В аридной зоне происходит преимущественно механическое рассеяние как первичных минералов, так и устойчивых вторичных новообразований урана и его спутников, сорбированных на глинистых минералах, лимонитах и т. п. Органические остатки в этих условиях быстро минерализуются. При их разложении многие элементы приобретают подвижность, но в связи с малым количеством влаги из почв удаляются лишь наиболее подвижные элементы, остальные образуют вторичные глинистые и другие минералы. Вследствие непромывного режима в аридной зоне отсутствует заметная дифференциация рудных элементов по профилю почв, что для таких элементов, как уран, молибден, свинец и другие, вызвано малой подвижностью в карбонатной среде. В связи с этим образование почв в условиях аридной зоны не создает препятствий для развития открытых ореолов рассеяния, выделяющихся при опробовании поверхностного горизонта рыхлых отложений.

Обычно в данной зоне открытые ореолы рассеяния отмечаются при значительной мощности элювиально-делювиальных отложений. Возможность их выделения определяется продуктивностью эродированного рудного тела или первичного ореола. Увеличение мощности делювиальных отложений приводит к резкому ослаблению ореола рассеяния и его невозможно обнаружить с поверхности.

Геохимические условия гумидной зоны резко отличаются от сухих и засушливых районов. Вследствие смыкания зоны просачивания с грунтовыми водами происходит вымывание из почв и вынос грунтовыми водами многих подвижных элементов, в том числе урана, радия, молибдена, меди и др. Миграционная способность многих элементов в этих условиях значительно увеличивается. Известны случаи образования вторичных урановых и радиевых ореолов, иногда совершенно оторванных от месторождений и разобщенных между собой вследствие аккумуляции урана органическим веществом, а радия — глинистыми минералами. При этом формируются подзолистые почвы, для которых характерна резкая дифференциация по профилю почв большинства рудных элементов.

Процессы выщелачивания, а также перераспределения элементов по профилю почв в области автономного ландшафта достигают глубины 1—1,5 *м*, в результате чего происходит резкое обеднение верхних частей ореолов рассеяния или даже полное уничтожение их. Выщелоченные ореолы такого типа не отмечаются с поверхности обычными приемами металлометрической съемки. Органические остатки в гумидной зоне сравнительно быстро гумифицируются и переносятся в области аккумуляции. Вынесенные с участков месторождения уран и другие элементы, перемещаясь в пониженные части рельефа, в условиях восстановительной среды аккумулируются накопляющимся там органическим веществом (торф, сапропель).

В ряде районов Советского Союза выделяются площади, где коренные породы и развитая на них кора выветривания закрыты чуждыми отложениями (ледниковыми, эоловыми и т. д.) различной мощности, иногда достигающей десятков и первых сотен метров. Такие отложения имеют пониженный геохимический фон химических элементов. В этих условиях ореолы урана сохраняются, как правило, только в пределах коры выветривания или, если последняя смыта — в коренных породах.

Образование ореолов рассеяния в остаточной коре выветривания связано с деятельностью вод, химическим растворением, миграцией, а также

закреплением рудного вещества в продуктах выветривания пород и руд. Вследствие этого кора выветривания играет двоякую роль в формировании вторичных ореолов рассеяния урановых месторождений. Многие элементы, в том числе уран и радий, выносятся из ее пределов, в результате чего происходит уменьшение концентрации их в ореолах. В то же время иногда наблюдается расширение вторичных и смешанных ореолов рассеяния по сравнению с контурами рудных тел и первичных ореолов за счет закрепления рудного вещества в продуктах выветривания.

Изучение ореолов рассеяния, перекрытых чуждыми рыхлыми отложениями, показывает, что при благоприятных условиях наложенное солевое рассеяние может проникать в перекрывающие четвертичные суглинки на 1—2 *м* и в плотные глины на 0,8 *м*. Имеются данные даже о проникновении солевых ореолов рассеяния молибдена, меди, никеля и цинка в моренные отложения на 3—5 *м* (Сафронов, 1957). Однако в общем случае глубина залегания верхней границы вторичных ореолов рассеяния совпадает с кровлей глинистой коры выветривания, поэтому ореолы рассеяния в коре выветривания при наличии чуждых отложений полностью перекрыты (погребены) и недоступны для обнаружения их обычными приемами металлометрического опробования.

Таким образом по условиям формирования все вторичные ореолы рассеяния могут быть разделены на три группы: открытые, закрытые и погребенные.

О т к р ы т ы е о р е о л ы р а с с е я н и я, выходящие непосредственно на дневную поверхность, характерны для:

а) всех горных, активно денудируемых районов любых климатических зон, где почвенный покров обычно плохо развит;

б) денудационных равнин аридной зоны;

в) элементов слабых водных мигрантов (Sn, Pb, TR и др.) даже в гумидных зонах.

З а к р ы т ы е о р е о л ы р а с с е я н и я, проявленные в приповерхностном слое элювиально-делювиальных отложений очень слабо или не проявленные вообще, характерны для:

а) горно-таежных районов гумидной зоны с замедленной денудацией и районов с горно-луговыми ландшафтами, в которых вследствие промывного режима имеет место выщелачивание верхних частей ореолов рассеяния, особенно элементов, являющихся активными водными мигрантами (U, Ra, Mo, Cu и др.);

б) площадей, закрытых мощным плащом элювиально-делювиальных отложений в любых климатических зонах;

в) площадей, расположенных в пустынях или полупустынях, где верхний горизонт элювиально-делювиальных отложений разубожен эоловым материалом.

П о г р е б е н н ы е о р е о л ы р а с с е я н и я образуются в результате перекрытия слоя элювиально-делювиальных отложений чуждыми отложениями (ледниковыми, эоловыми, аллювиальными и пр.) той или иной мощности. Такие ореолы встречаются в условиях любых геохимических ландшафтов и с поверхности не фиксируются.

Вторичные ореолы рассеяния урановых месторождений в аридной зоне

Рассмотрим некоторые особенности вторичных ореолов рассеяния урановых месторождений, развивающихся в элювиально-делювиальных отложениях аридной зоны.

Э л е м е н т н ы й с о с т а в о р е о л о в р а с с е я н и я в элювиально-делювиальных отложениях близок к составу ореолов в коренных породах, отражающих элементный состав рудных тел. Однако следует иметь в виду, что возможность обнаружения того или иного химического элемента

зависит от чувствительности применяемого метода анализа. Поэтому элементы, входящие в состав ореолов в коренных породах, содержание которых близко к пределу чувствительности метода определения, могут быть не отмечены в рыхлых отложениях с поверхности.

В результате изучения элементного состава вторичных ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях установлено, что в них встречаются многие химические элементы, однако не все они имеют поисковое значение как элементы-спутники урана. Из элементов, выявленных спектральным анализом, выделяются следующие:

а) имеющие повышенную концентрацию в рудах и образующие первичные ореолы в коренных породах вокруг урановых рудных тел; к ним относятся свинец, молибден, мышьяк, медь, серебро, цирконий, иногда цинк, таллий и бериллий;

б) с низкими концентрациями в рудных телах, встречающиеся спорадически в пределах ореолов рассеяния урана и обычно сами ореолов не образующие (стронций, рубидий, сурьма и др.);

в) рассеянные равномерно или образующие концентрации, характерные для определенного типа пород, но обычно не связанные с гидротермальными урановыми рудами; к ним относятся: титан, никель, хром, олово, иногда медь,

Наиболее важное значение при поисках по вторичным ореолам рассеяния имеют элементы первой группы. Из этой группы для большинства гидротермальных месторождений урана выделяются как наиболее часто сопутствующие урану и образующие наиболее интенсивные ореолы свинец и молибден и для меньшего числа месторождений — мышьяк. Такие элементы, как медь, серебро, цинк, таллий, бериллий и цирконий, входящие в эту группу, образуют менее интенсивные и меньшие по размерам ореолы рассеяния и поэтому используются обычно для дополнительной характеристики ореолов рассеяния основных элементов — урана, свинца и молибдена.

Форма вторичных ореолов рассеяния урана и сопутствующих ему элементов в элювиально-делювиальных отложениях зависит в основном от формы ореолов этих элементов в коренных породах. Вторичные ореолы обычно вытягиваются по простиранию рудоносных зон, а при сближенном расположении последних увеличивается ширина ореолов и усложняется их форма. Если сближенные в пространстве рудные тела и окаймляющие их первичные ореолы приурочены к трещинам различного направления, ореолы в большинстве случаев имеют изометрическую или овальную форму.

Размеры вторичных ореолов рассеяния урана, свинца и молибдена в элювиально-делювиальных отложениях по ширине, как правило, в десятки раз превышают проекции рудных тел на поверхность и в 1,5—2 раза — размеры ореолов в коренных породах. В отличие от последних они обычно выходят за пределы зон измененных пород, наблюдаемых на поверхности. Над одной и той же рудоносной зоной ореолы урана, свинца, молибдена и других элементов, а также гамма-аномалии могут несколько отличаться по ширине.

Это иллюстрируется рис. 19, на котором изображены ореолы рассеяния урана, свинца, молибдена и меди, выявленные на одном из участков месторождения VIII над рудным телом, скрытым под элювиально-делювиальными отложениями мощностью 1,0—1,5 *м*. На этом участке с целью сопоставления ширины ореолов в коренных породах и рыхлых отложениях было произведено опробование тех и других. Коренные породы опробовались по дну канав и обнажениям, а делювиальные отложения — по бортам канав и на поверхности по сети 25 × 10 *м* со сгущением шага опробования в пределах рудоносных зон до 5 *м*. Данные опробования сведены в табл. 10.

Как видно из табл. 10, ширина ореолов рассеяния всех элементов в делювиальных отложениях больше, чем в коренных породах. При этом

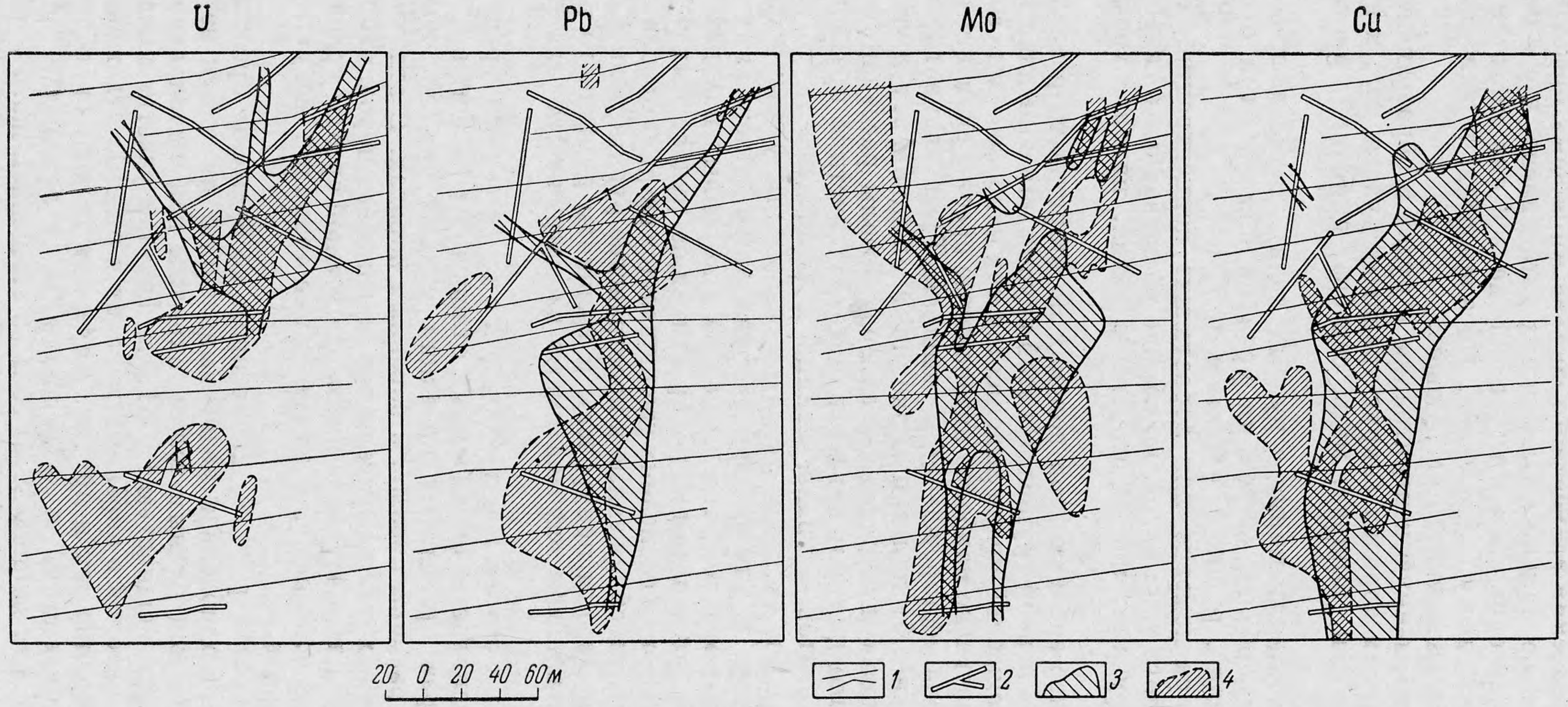


Рис. 19. Месторождение VIII. Сопоставление ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях и коренных породах над скрытым урановым рудным телом (по Л. Т. Мишину)

1 — профили отбора проб; *2* — канавы; *3* — ореолы в коренных породах; *4* — ореолы рассеяния в делювиальных отложениях

как в коренных породах, так и в делювии наиболее широкими в данном случае являются ореолы меди, самыми узкими — ореолы урана.

Таблица 10

Средняя ширина ореолов (*м*) в коренных породах и делювиальных отложениях

Тип ореолов	Элементы			
	Уран	Свинец	Молибден	Медь
Первичные в коренных породах	17	25	29	40
Вторичные в делювиальных отложениях . . .	24	33	36	51

В табл. 11 приведены данные о ширине гамма-аномалий и пространственно совпадающих с ними вторичных ореолов рассеяния молибдена, выявленных при площадных гамма-съемке и опробовании на трех участках рудного поля месторождения VI. Для этого месторождения молибден является основным спутником урана.

Таблица 11

Ширина гамма-аномалий и ореолов рассеяния молибдена

Участок	Количество аномалий	Колебания ширины, *м*		Средняя ширина, *м*	
		гамма-аномалии	ореолы рассеяния молибдена	гамма-аномалии	ореолы рассеяния молибдена
1	12	10—60	15—130	25	47
2	4	10—85	20—95	50	50
3	2	12—33	8—12	22	10

Из табл. 11 следует, что средняя ширина ореолов рассеяния молибдена равна или несколько превышает ширину гамма-аномалий и только на участке 3 (два случая) меньше ее. Для аномалий, выявленных на участке 1 над промышленными урановыми рудными телами, размеры ореолов рассеяния молибдена по ширине почти вдвое превышают совпадающие с ними гамма-аномалии.

В табл. 12 приводятся данные о ширине ореолов рассеяния урана, свинца и молибдена, установленные по данным площадного опробования на площади месторождения IX. Мощность делювиальных отложений здесь составляет 5 *м* и более, поэтому вторичные ореолы рассеяния иногда проявлены очень слабо и имеют перерывы по простиранию. Сопоставление ширины ореолов произведено по десяти геохимическим аномалиям, каждая из которых состоит из ряда сближенных ореолов урана, свинца и молибдена, пространственно иногда смещенных относительно друг друга на 10—30 *м*.

Таблица 12

Ширина вторичных ореолов рассеяния урана, свинца и молибдена на площади месторождения IX

Ореолы рассеяния	Колебания ширины, *м*	Средняя ширина, *м*
Уран	10—95	43
Свинец	10—110	39
Молибден	10—130	55

Таблица 13

Величины геохимического фона элементов и их содержаний в ореолах рассеяния

Элемент	Колебания геохимического фона, %	Колебания содержания элементов в ореолах рассеяния, %	Содержания элементов в центральной части ореола, %	
			над эродированными рудными телами	над скрытыми рудными телами
Уран	0,0001—0,0003	0,0005—0,02	0,01—0,02	0,001—0,003
Свинец	0,003—0,01	0,006—1,0	0,1—0,6	0,3—1,0
Молибден	0,0001—0,0002	0,0003—0,1	0,003—0,06	0,003—0,1
Медь	0,004—0,006	0,02—0,1	0,02—0,1	0,02—0,1
Цинк	0,003—0,006	0,01—0,1	0,01—0,1	0,01—0,1
Серебро	~0,0001	0,0003—0,003	0,0001—0,003	0,0001—0,003
Мышьяк	~0,001	0,003—0,02	0,005—0,01	0,005—0,02

Содержания элементов в центральной части ореола, %		
над глубоко-эродированными рудными телами	на участках с непромышленной урановой минерализацией	
0,001—0,01	0,0005—0,0015	
0,01—0,03	0,006—0,06	
0,0003—0,01	0,0003—0,01	
Ореолы рассеяния не установлены		
» »	» »	
» »	» »	
Нет сведений		

Как видно из табл. 12, в данном случае ширина ореолов рассеяния урана и свинца примерно одинакова, а ширина ореолов молибдена несколько больше.

Размеры ореолов рассеяния урана и сопутствующих ему элементов по простиранию определяются длиной рудоносных зон или первичных ореолов и превышают длину последних на 20—50 *м*. Увеличение длины вторичных ореолов рассеяния по сравнению с рудоносными зонами особенно заметно при ориентировке последних по направлению крутых склонов.

Содержание элементов в ореолах рассеяния определяется продуктивностью ореолов в коренных породах, интенсивностью процесса рассеяния, проявляющегося в конкретных условиях, и мощностью элювиально-делювиальных отложений.

Обычно содержание урана и сопутствующих ему элементов в центральной части ореола рассеяния превышает величину местного геохимического фона на 1—3 порядка. В табл. 13 приведены величины фоновых концентраций элементов и значения аномальных содержаний их в ореолах рассеяния на площадях изученных урановых месторождений. Здесь же дано изменение максимальных содержаний элементов, характеризующих центральную часть ореолов в зависимости от глубины эрозионного среза рудных тел. Следует отметить, что плавное изменение концентраций элементов во вторичных ореолах рассеяния позволяет сравнивать отдельные ореолы по максимальным содержаниям элементов. Однако крайне неравномерное распределение содержаний элементов в первичных ореолах вызывает необходимость сравнивать их по средним содержаниям элементов и линейным продуктивностям.

Из табл. 13 следует, что максимальные содержания мышьяка, меди, цинка и серебра в элювиально-делювиальных отложениях над эродированными и скрытыми урановыми рудными телами колеблются в одних и тех же пределах. Эти элементы не обнаруживаются во

вторичных ореолах над глубоко эродированными рудными телами, а также на участках с непромышленной урановой минерализацией. В то же время отмечаются существенные различия в содержаниях урана, свинца и молибдена в делювии над рудными телами каждой из четырех групп.

Сопоставление содержаний последних показывает, что если концентрации свинца и молибдена в ореолах рассеяния над эродированными и скрытыми рудными телами характеризуются высокими значениями, то концентрация урана, достигающая сотых долей процента над эродированными рудными телами, обычно составляет только тысячные доли процента над скрытыми рудными телами.

В ореолах рассеяния над глубоко эродированными урановыми рудными телами и на участках с непромышленной урановой минерализацией содержания свинца и молибдена резко снижаются (на 1—2 порядка), но содержание урана сохраняется высоким.

Рассмотренные в табл. 13 данные позволяют считать, что главной причиной, обусловливающей различие в концентрациях и соотношениях урана, свинца и молибдена во вторичных ореолах рассеяния при прочих равных условиях является положение эрозионной поверхности относительно уранового рудного тела и первичных ореолов. Последние, как было показано в главе I, характеризуются зональным распределением элементов. Очевидно, содержания элементов во вторичных ореолах рассеяния и их соотношения являются отражением этой зональности, что подчеркивает непосредственную связь между первичными и вторичными ореолами.

Вертикальная протяженность вторичных ореолов рассеяния в районах с различными климатическими условиями

Представление о вертикальной протяженности вторичных ореолов рассеяния урана, свинца и молибдена в рыхлых отложениях дают результаты металлометрического опробования стенок канав.

В горных районах на участках со слаборазвитыми почвами и небольшой мощностью элювиально-делювиальных образовний (первые десятки сантиметров) над первичными ореолами урановых рудных тел образуются открытые, в основном механические ореолы рассеяния урана, молибдена, свинца, легко обнаруживаемые с поверхности. Такие ореолы наиболее четко отражают особенности первичных ореолов в коренных породах (прилож. 6, лист 13).

На участках, закрытых элювиально-делювиальными отложениями мощностью 3 *м*, иногда 5 *м*, и с более развитыми почвами образуются преимущественно смешанные ореолы при одновременном участии солевого и механического рассеяния. Рассеяние урана, свинца и молибдена происходит по всей мощности рыхлых отложений, при этом концентрация урана постепенно уменьшается снизу вверх (рис. 20). Молибден, напротив, концентрируется в почвенном слое. Вертикальная протяженность ореолов рассеяния элементов в данных условиях зависит прежде всего от продуктивности ореолов в коренных породах и от подвижности элемента.

В районах развития мелкосопочного рельефа в умеренно влажной зоне с хорошо развитым почвенным покровом наблюдается обогащение ураном и другими рудными элементами почв и подпочвенного горизонта за счет их аккумуляции органическим веществом. В связи с этим концентрации элементов в элювиально-делювиальных отложениях по направлению к поверхности сперва уменьшаются, а затем снова увеличиваются в подпочвенном горизонте. Ореолы рассеяния в вертикальном разрезе приобретают сложный вид и могут неполно отражать особенности ореолов в коренных породах (рис. 21). В этих условиях при поисковых работах наиболее надежно выявление ореолов рассеяния в подпочвенном горизонте.

В сухом жарком климате полупустынных областей образуются маломощные, слабо дезинтегрированные элювиально-делювиальные отложения.

На значительной части площадей они закрыты современными лёссовидными суглинками и супесями, преимущественно эолового происхождения. Мощность их на водораздельных участках колеблется от 0,2 до 0,6 *м*, а в депрессиях достигает 3 *м* и более. Малое количество выпадающих осадков не вносит больших изменений в химический состав перекрывающих отложений и препятствует развитию почвенного покрова.

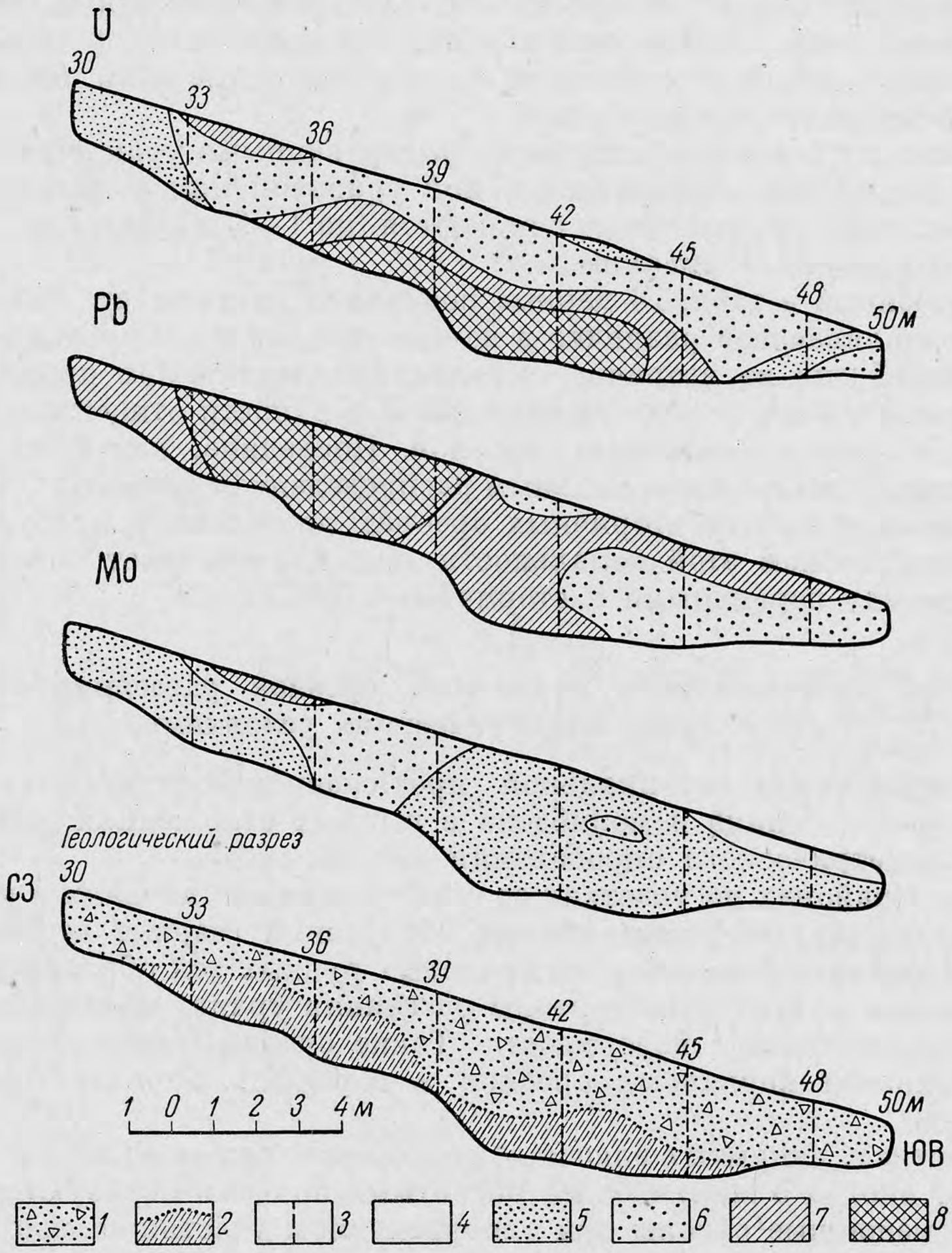


Рис. 20. Вертикальные разрезы ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях (по А. Н. Боголюбову)

1 — элювиально-делювиальные отложения; *2* — зоны гидротермального изменения, окварцевания и турмалинизации в коренных породах; *3* — места отбора проб. Содержание элементов в ореоле $\cdot n \cdot 10^{-4}$ %: *4* — урана менее 5, свинца менее 300, молибдена менее 3; *5* — урана 5, свинца 300—1000, молибдена 3—10; *6* — урана 10—20, свинца 1000—3000, молибдена 10—30; *7* — урана 20—50, свинца 3000—10 000, молибдена 30—100; *8* — урана более 50, свинца более 10 000

Наличие дальнеприносных отложений при ограниченном развитии вторичных процессов приводит к резкому снижению концентраций рудных элементов в верхних горизонтах рыхлых отложений за счет их разубоживания. При этом ореолы рассеяния урана, свинца и молибдена либо выклиниваются, не достигая поверхности — закрытые ореолы (рис. 22, *а*), либо уменьшаются в размерах по направлению к поверхности (рис. 22, *б*).

На участках с выпотным режимом вод в этих условиях иногда образуются приповерхностные испарительные аккумуляции урана, имеющие максимальные размеры у поверхности и постепенно исчезающие с глубиной. Вертикальная протяженность этих скоплений может достигать 2 *м*. Кон-

центрация урана по вертикальному разрезу рыхлых отложений в таких скоплениях увеличивается от нижних горизонтов к верхним и достигает иногда вблизи поверхности десятых долей процента (рис. 23). Однако приведенный разрез приповерхностного скопления урана имеет, по-видимому, сложный генезис и связан с явлениями инфильтрации и последующей испарительной аккумуляции. Такие аккумуляции урана обычно не сопрово-

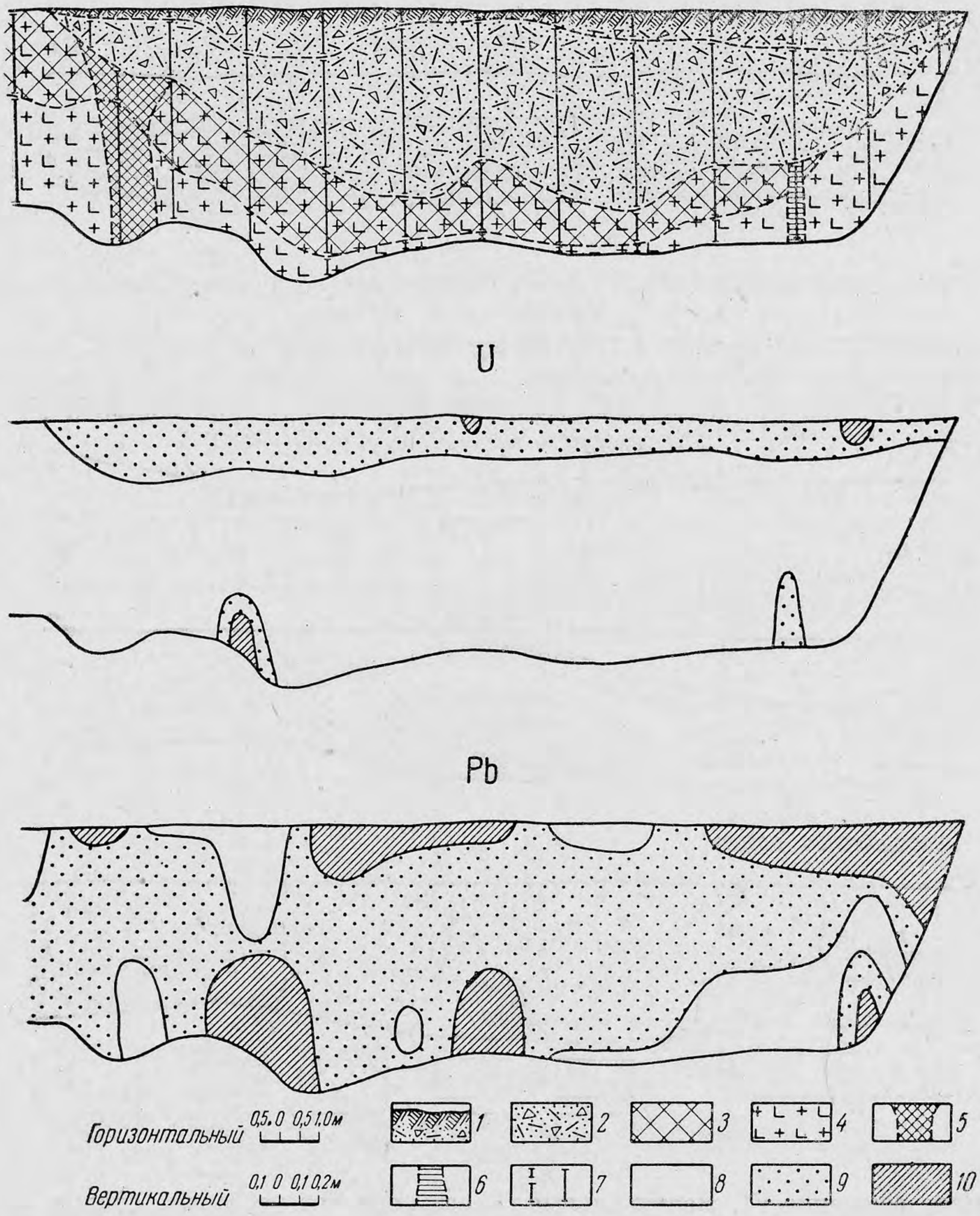


Рис. 21. Повышение концентраций элементов в подпочвенном слое делювиальных отложений (по В. М. Константинову)

1 — почва; *2* — делювиальные отложения; *3* — кора выветривания и элювиальные отложения; *4* — гранодиориты; *5* — зоны дробления; *6* — кварцевая жила; *7* — интервалы опробования. Концентрации элементов, *гф*: *8* — менее 3; *9* — от 3 до 10; *10* — более 10

ждаются типичными для эндогенных урановых месторождений данного района элементами-спутниками.

В условиях горно-лугового ландшафта, где почвенный покров иногда достигает мощности 1 *м*, на процессы перераспределения элементов в почвах накладывается процесс их выщелачивания поверхностными водами, проявляющийся тем сильнее, чем больше миграционная способность химических элементов. В результате этого концентрации рудных элементов в почвенном покрове значительно уменьшаются. Опытными работами установлено, что при таком геохимическом ландшафте ореолы рассеяния урана, свинца

и молибдена, как правило, выщелочены с поверхности и обнаруживаются лишь в верхнем горизонте делювия (прилож. 6, лист 14).

Процесс выщелачивания элементов более интенсивно проявлен в областях гумидной зоны, где легкоподвижные элементы, в том числе уран и радий, вынесены даже из верхних горизонтов элювиально-делювиальных отложений. Отсутствие ореолов рассеяния этих элементов на поверхности

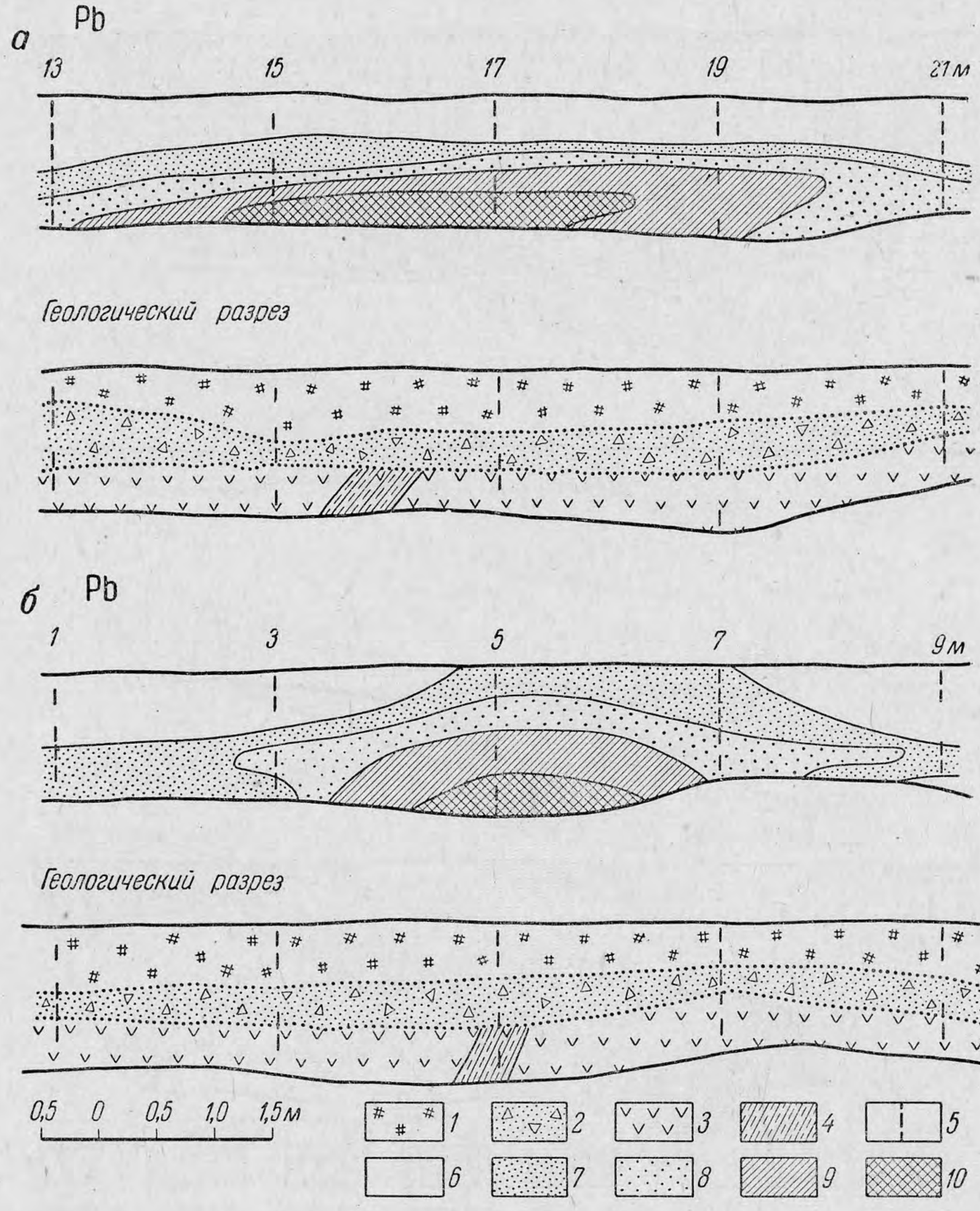


Рис. 22. Месторождение VI. Вертикальные разрезы ореолов рассеяния свинца, перекрытых лёссовидными суглинками (по Е. А. Майоровой)

а — ореол, не выходящий на поверхность; *б* — ореол, резко ослабленный на поверхности
1 — лёссовидные суглинки; *2* — элювиально-делювиальные отложения; *3* — фельзиты; *4* — зоны гидротермально измененных пород; *5* — места отбора проб. Содержание свинца в ореоле рассеяния, $n \cdot 10^{-3}$ %: *6* — менее 30; *7* — от 3 до 10; *8* — от 10 до 30; *9* — от 30 до 100; *10* — более 100

вызывает необходимость применения шпуровой гамма-съемки. Важное практическое значение могут также приобрести элементы-спутники урана (свинец и др.), имеющие малую миграционную способность, ореолы которых выходят на дневную поверхность (рис. 24). На данном рисунке сочетаются несколько типов ореолов — закрытый ореол рассеяния урана, который может быть выявлен шпуровой гамма-съемкой на глубине не менее 1 *м*; открытый, но резко обедненный очень небольшой ширины ореол рассеяния свинца и также выходящий на поверхность и резко обедненный ореол рассеяния молибдена, отмечающийся в подпочвенном горизонте и полностью выщелоченный из элювиальных отложений.

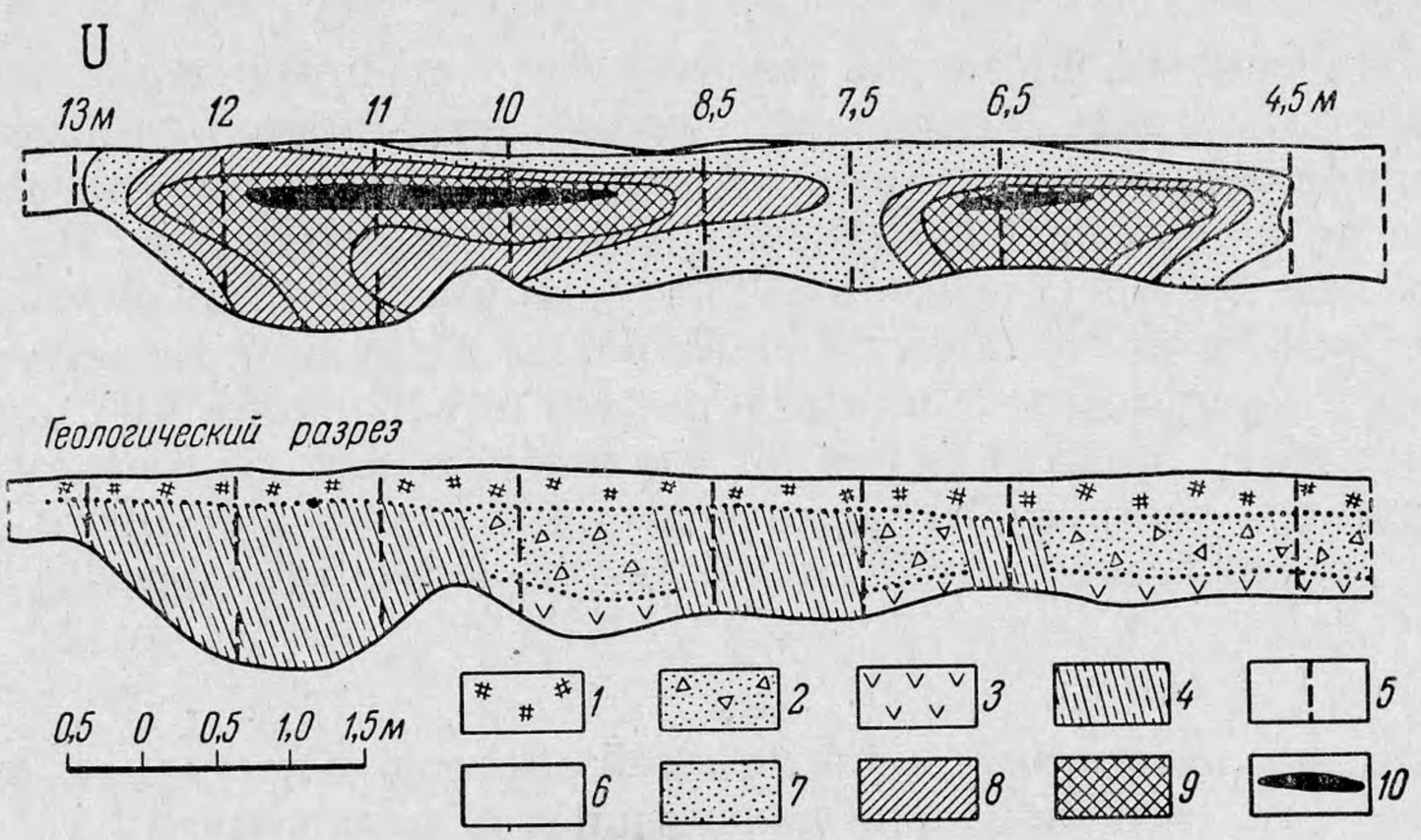


Рис. 23. Месторождение VI. Вертикальный разрез приповерхностного скопления урана (по Е. А. Майоровой)

1 — лёссовидные суглинки; *2* — кора выветривания и элювиально-делювиальные отложения; *3* — фельзиты; *4* — зоны дробления; *5* — места отбора проб. Содержание урана в ореоле рассеяния, $n \cdot 10^{-4}$ %: *6* — менее 4; *7* — от 4 до 20; *8* — от 20 до 100; *9* — более 100; *10* — рудные концентрации урана

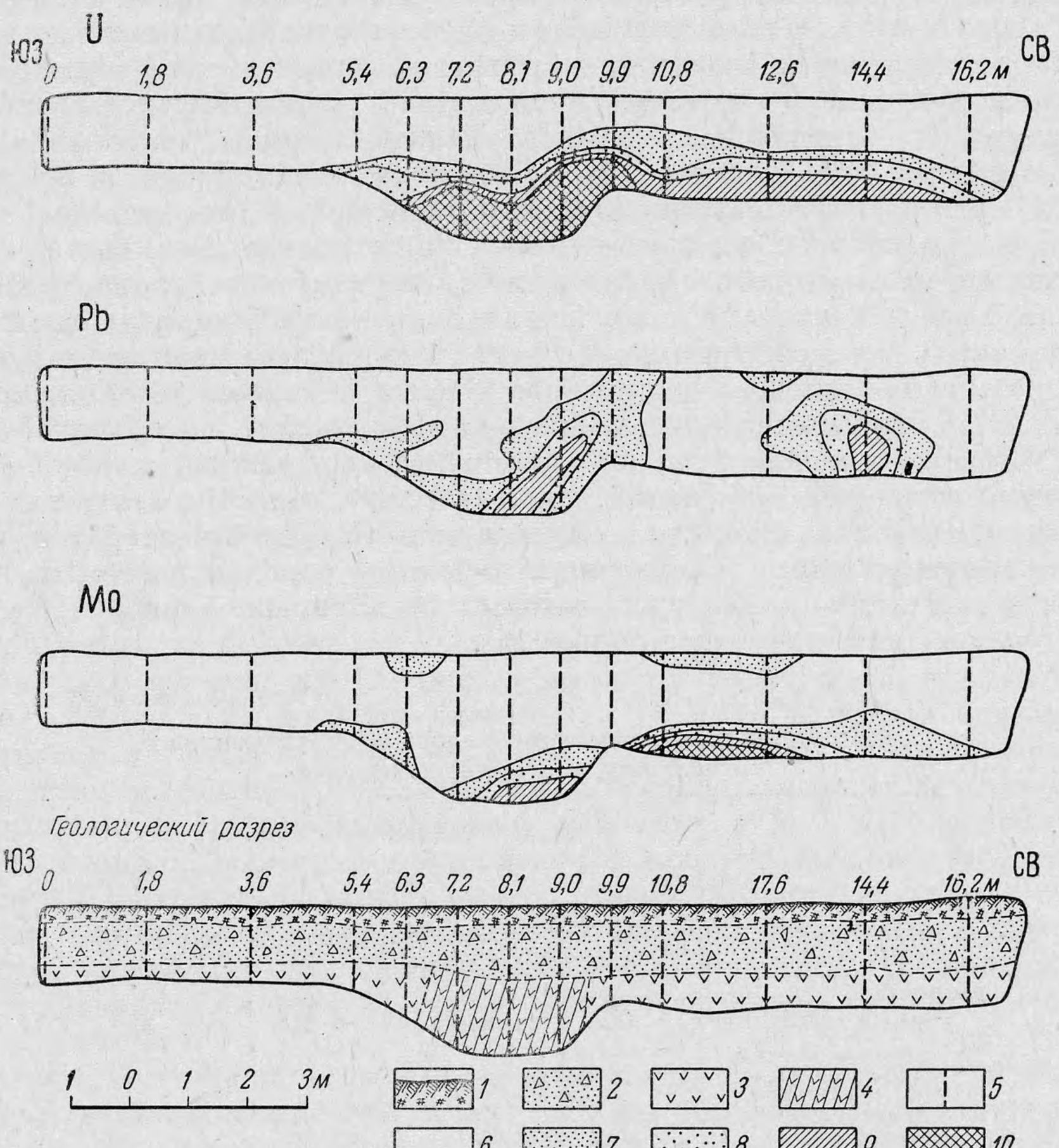


Рис. 24. Вертикальные разрезы ореолов рассеяния урана, свинца и молибдена (по Е. А. Майоровой)

1 — почва; *2* — делювиальные отложения; *3* — кварцевые порфиры; *4* — зона гидротермально измененных пород; *5* — места отбора проб. Содержание элементов в ореоле рассеяния, 10^{-4} %: *6* — урана менее 5, свинца менее 30, молибдена менее 3; *7* — урана 5—10, свинца 30—60, молибдена 3—10; *8* — урана 10—20, свинца 60—150, молибдена 10—30; *9* — урана 20—50, свинца более 150, молибдена 30—100; *10* — урана более 50, молибдена более 100

Из приведенных примеров следует, что распределение элементов по вертикальному разрезу рыхлых отложений осложняется такими факторами, как выщелачивание элементов из верхних горизонтов отложений, их разубоживание и полное перекрытие чуждыми отложениями. Их необходимо учитывать при выборе представительного горизонта для опробования рыхлых отложений, в пределах которого ореолы рассеяния выражены наиболее четко. Только при этом условии результаты опробования рыхлых отложений дают объективное представление об элементном составе ореолов рассеяния, концентрации элементов, их количественных соотношениях и других особенностях, являющихся отражением закономерностей ореолов в коренных породах.

Сравнение некоторых особенностей ореолов в коренных породах и элювиально-делювиальных отложениях

При сравнении ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях и подстилающих коренных породах установлена приуроченность их к одним и тем же рудоносным зонам. Однако они отличаются по размерам, равномерности распределения элементов и иногда пространственно разобщены. Причиной пространственного разобщения является смещение рыхлых отложений, а следовательно и ореолов рассеяния, вниз по склону. Величина смещения определяется крутизной склона, мощностью рыхлого покрова и местными факторами (Соловов, 1959). Зависимость величины смещения ореолов от крутизны склона изучалась в горных районах аридной зоны. При этом было установлено, что при крутизне склона до 30° и мощности элювиально-делювиальных отложений до 1,5—2,0 *м*, величина смещения обычно равняется первым метрам и лишь иногда достигает 10—30 *м*.

Степень равномерности распределения элементов в ореолах рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях и коренных породах выявлялась на нескольких месторождениях. На рис. 19 приведены данные, полученные в результате геохимического опробования дна и бортов канав на месторождении VIII, где мощность делювиальных отложений колеблется от 1 до 2,5 *м*. Опробование коренных пород, проведенное по дну канав, и делювиальных отложений — в бортах канав (верхний горизонт делювия) проведено по одинаковой методике — пунктирной бороздой 5-метровой длины. Для ореолов рассеяния в делювии и коренных породах рассчитаны коэффициенты вариации, характеризующие степень неравномерности распределения содержаний элементов (табл. 14).

Таблица 14

Коэффициенты вариации содержаний элементов в делювии и коренных породах

Типы ореолов	Коэффициент вариации, %			
	Уран	Свинец	Молибден	Медь
Первичные в коренных породах	80	166	109	229
Вторичные в делювиальных отложениях	66	141	74	166

Как видно из табл. 14, величины коэффициентов вариации, рассчитанные для каждого элемента, в ореолах коренных пород выше, чем в ореолах рассеяния в делювии. Величина превышения в данном случае колеблется от 14 до 63%. Таким образом, особенности механического и солевого рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях обусловливают более равно-

Таблица 15

Количественная характеристика «изрезанности» графиков содержаний элементов в ореолах рассеяния в делювии и в подстилающих коренных породах

Тип ореолов	Градиенты содержаний элементов, *гф*			
	Уран	Свинец	Молибден	Медь
Первичные в коренных породах	0,50	1,53	0,58	0,43
Вторичные в делювиальных отложениях	0,22	0,98	0,23	0,24

мерное распределение элементов в рыхлых отложениях по сравнению с коренными породами.

Как было отмечено в главе I, коэффициент вариации, характеризуя колебания величин содержаний элементов по профилю или площади, не учитывает взаимного положения проб с максимальными и минимальными содержаниями элементов, отражающегося в степени «изрезанности» (зубчатости) графиков распределения элементов. Последнее может быть охарактеризовано количественно величиной градиента содержаний в весовых процентах или в единицах геохимического фона элементов, а также отношением градиента к среднему содержанию элемента в ореоле. Так, в табл. 15 приведены средние величины градиентов аномальных содержаний элементов в единицах геохимического фона, вычисленные для ореолов, по которым подсчитаны коэффициенты вариации (см. табл. 14).

Как видно из табл. 15, градиенты содержаний элементов в пределах ореолов в коренных породах в 2 раза выше, чем в ореолах рассеяния в делювии и более резко, чем коэффициенты вариации, подчеркивают степень неравномерности распределения элементов в коренных породах по сравнению с делювием. Более равномерное распределение элементов в рыхлых отложениях позволяет применять при геохимических исследованиях точечное опробование по более редкой сети, в то время как коренные породы необходимо опробовать методом непрерывной пунктирной борозды.

Результаты изучения вторичных ореолов рассеяния урановых месторождений показывают, что как и в коренных породах, в элювиально-делювиальных отложениях большое значение в качестве критерия оценки глубины эрозионного среза месторождения (или рудного тела) приобретают количественные соотношения параметров ореолов химических элементов (продуктивность, средние содержания элементов и др.). В благоприятных условиях по количественным соотношениям указанных параметров ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях можно судить о величине этих соотношений в первичных ореолах. Количественные соотношения элементов, как уже указывалось, могут быть выражены отношением величины продуктивности ореола одного элемента к продуктивности ореола другого элемента.

В табл. 16 приведены величины отношения продуктивностей ореолов рассеяния свинца, молибдена и меди к продуктивности ореолов урана, вычисленные по данным опробования одного из участков над скрытым урановым рудным телом.

Из табл. 16 следует, что количественные соотношения продуктивностей в ореолах рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях и в подстилающих коренных породах близки между собой. Поэтому, зная величину отношения продуктивности ореола свинца или молибдена к продуктивности ореола урана в делювиальных отложениях, можно судить о величинах

Таблица 16

Количественное соотношение продуктивностей ореолов рассеяния

Отношение величин продуктивностей	Величины отношений продуктивностей ореолов		% расхождения[a]
	в коренных породах	в делювии	
Свинца к урану	1,27	1,50	+18
Молибдена к урану . .	1,16	0,96	—17
Меди к урану	1,40	1,13	—19

[a]Величина отношения в коренных породах принята за 100%.

этих отношений в коренных породах, а последние, как было уже указано, являются одним из критериев, позволяющих оценивать глубину эрозионного среза рудного тела.

Однако это положение справедливо только для условий аридной зоны при отсутствии в верхнем горизонте рыхлых отложений чуждого дальнеприносного материала. В условиях гумидной зоны, где происходит вынос легкоподвижных элементов из верхней зоны делювия, соотношения количеств элементов в ореолах в рыхлых отложениях и коренных породах могут быть резко различными. Характер распределения элементов в элювиально-делювиальных отложениях и коренных породах иллюстрируется графиками на листах 5, 6, 7 и 13 в прилож. 6.

Анализ кривых распределения урана и свинца в элювиально-делювиальных отложениях над урановыми рудными телами ряда изученных месторождений позволяет установить следующее:

1) над скрытыми урановыми рудными телами в элювиально-делювиальных отложениях отмечается высокое содержание свинца, сопровождаемое низким содержанием урана, благодаря чему величина соотношения продуктивностей ореолов свинца и урана колеблется от 1,5 до 25,0 (прилож. 6, листы 5, 9, 13, 15);

2) над эродированными урановыми рудными телами, где отмечается высокое содержание свинца, величина отношения продуктивностей ореолов этих элементов составляет 0,4—4,8 (прилож. 6, листы 4, 8, 21);

3) над нижними горизонтами и корнями рудных тел, не имеющих перспектив на глубину, высокое содержание урана сопровождается низким содержанием свинца при локальном его распространении, и величина отношения продуктивностей указанных элементов становится меньше 0,3 (прилож. 6, листы 4, 7, 18);

4) над инфильтрационными и испарительными скоплениями при высоких концентрациях урана содержание свинца, как правило, не превышает величины геохимического фона, вследствие чего величина отношения продуктивностей ореолов этих элементов приближается к нулю (прилож. 6, листы 10, 19, 20);

5) над полиметаллическими месторождениями отмечаются интенсивные и широкие ореолы рассеяния свинца при фоновом содержании урана; величины соотношений продуктивностей возрастают в этом случае до 1000 единиц и более (прилож. 6, листы 22, 23).

Таким образом, в благоприятных для проведения геохимических поисков условиях аридной зоны по величине отношения продуктивностей вторичных орелов рассеяния свинца и урана можно не только отличать испарительные скопления урана от гидротермальных образований, но и разделять последние по глубине эрозионного среза.

Выводы

Результаты изучения вторичных ореолов рассеяния урана и сопутствующих ему элементов над эродированными рудными телами и первичными ореолами скрытых рудных тел в пределах рудных полей ряда районов позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Формирование вторичных ореолов рассеяния урановых месторождений определяется условиями гипергенной миграции элементов, принципиально различными для геохимических ландшафтов аридной и гумидной климатических зон.

2. Над эродированными урановыми рудными телами и первичными ореолами скрытых рудных тел в древней коре выветривания и современных элювиально-делювиальных отложениях развиваются вторичные ореолы рассеяния урана, свинца, молибдена, мышьяка и других элементов, входящих в состав рудных тел или первичных ореолов. Это обстоятельство подчеркивает непосредственную связь между ореолами рассеяния в коренных породах и элювиально-делювиальных отложениях.

3. Наиболее широкими и контрастными по содержанию являются ореолы рассеяния свинца и молибдена, которые на большинстве изученных гидротермальных месторождений урана служат важным поисковым признаком.

4. Размеры вторичных ореолов рассеяния урана и сопутствующих ему элементов в элювиально-делювиальных отложениях во много раз превышают проекции рудных тел на поверхность. По сравнению с ореолами в коренных породах ореолы рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях отмечаются более равномерным распределением элементов и бо̀льшими размерами, что позволяет производить поиски на площадях, закрытых делювиальными отложениями, и обнаруживать рудные тела с большей простотой и значительно меньшей затратой средств, чем в коренных породах.

5. В условиях аридной зоны открытые вторичные ореолы рассеяния уверенно фиксируются с поверхности, если мощность элювиально-делювиальных отложений составляет 3—5 *м*. При большей их мощности возможность обнаружения вторичных ореолов рассеяния с поверхности уменьшается.

6. Для условий гумидной зоны с выщелоченным верхним горизонтом рыхлых отложений (почва, делювий) до глубины 0,5—1,0 *м* характерно наличие закрытых ореолов рассеяния урана, радия и других легкоподвижных элементов.

7. На площадях, закрытых чуждыми отложениями, ореолы рассеяния погребены и недоступны для обнаружения их с поверхности обычными приемами металлометрического опробования. Поиски на таких площадях могут осуществляться только с помощью технических средств, обеспечивающих уверенное достижение глубины представительного горизонта опробования.

8. В условиях аридной климатической зоны, в активно денудируемых горных районах, по величине отношения продуктивностей ореолов рассеяния свинца (молибдена) и урана можно разделять аномалии, возникшие над глубоко эродированными (корни рудных тел) и скрытыми рудными телами.

2. ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ

В процессе гипергенной миграции элементов, входящих в состав рудных тел и ореолов рассеяния, из области денудации в область осадконакопления образуются локальные повышения концентраций этих элементов в аллювиальных и пролювиальных отложениях, которые принято называть потоками рассеяния.

Различают механические и солевые потоки рассеяния. Механические потоки рассеяния образуются за счет обломков минералов и пород,

имеющих повышенные содержания рудных элементов. Солевые потоки рассеяния в аллювии обусловлены растворением минералов, входящих в состав рудных тел и ореолов рассеяния, переносом элементов в растворе и переотложением их в аллювии.

Механические потоки рассеяния

Механический поток рассеяния имеет направленное развитие, начинаясь в месте непосредственного поступления рыхлого материала из зоны развития ореола и протягиваясь вниз по течению водотока. Основы общей теории формирования механических потоков рассеяния разработаны А. П. Солововым и изложены в его работах (1959, 1960).

Процесс формирования механических потоков рассеяния активно протекает в районах с резко расчлененным рельефом, где интенсивная денудация обеспечивает поступление в аллювий рыхлого материала со склонов. В районах со сглаженным рельефом денудация водораздельных частей замедлена и по площади неравномерна; значительные участки часто практически не питают современный аллювий материалом твердого стока. В таких условиях за счет ореолов рассеяния, развитых в элювиально-делювиальных отложениях, далеко не всегда образуются потоки рассеяния в аллювии. Исключают возможность формирования механических потоков рассеяния чуждые образования, перекрывающие участки развития ореолов.

Содержания элементов в механических потоках рассеяния находятся в прямой зависимости от продуктивности ореолов, за счет которых они формируются. Связь между ореолами рассеяния, развитыми в приповерхностной части элювиально-делювиальных отложений, и потоками рассеяния может быть выражена формулой, предложенной А. П. Солововым (1957)

$$C'_x = K' \frac{P_x}{S_x},$$

где C'_x — содержание элемента в аллювии (в точке x) за вычетом фона;

P_x — продуктивность ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях, находящихся в водосборном бассейне выше точки x;

S_x — площадь бассейна выше точки x;

K' — коэффициент, зависящий от равномерности денудации, наличия или отсутствия накопления элемента в аллювии вследствие гравитационной дифференциации минералов, соотношения между количествами металла, мигрирующими в твердой и жидкой фазах, и ряда других факторов.

Изучение механических потоков рассеяния урана, сопутствующих ему элементов и их связи с ореолами рассеяния в основном проводилось в горных районах аридной зоны, где преобладает физическое выветривание, а периодические кратковременные, но сильные ливни и паводки обусловливают интенсивную денудацию поверхности и обновление верхней части элювиально-делювиальных образований и мелкой фракции аллювия. В этих условиях резко преобладает миграция элементов в твердой фазе, благодаря чему элементный состав потоков рассеяния соответствует составу ореолов рассеяния, а содержание урана и сопутствующих ему элементов в аллювии находится в прямой зависимости от продуктивности ореолов рассеяния, развитых в элювиально-делювиальных отложениях.

Рассмотрим урановое рудопроявление, с которым связаны ореолы и потоки рассеяния урана, свинца и молибдена (рис. 25 и 26), расположенное в типичном горном районе аридной зоны. Рельеф площади резко расчлененный (углы склонов колеблются от 15—20 до 30—35°), относительные превышения составляют 300—500 *м*. Склоны водоразделов покрыты элювиально-делювиальными отложениями мощностью до 2—3 *м*. В связи с сухим климатом и интенсивной эрозией поверхности почвообразование проявлено слабо. Оруденение контролируется зонами дробления, рассекающими толщу кислых эффузивов.

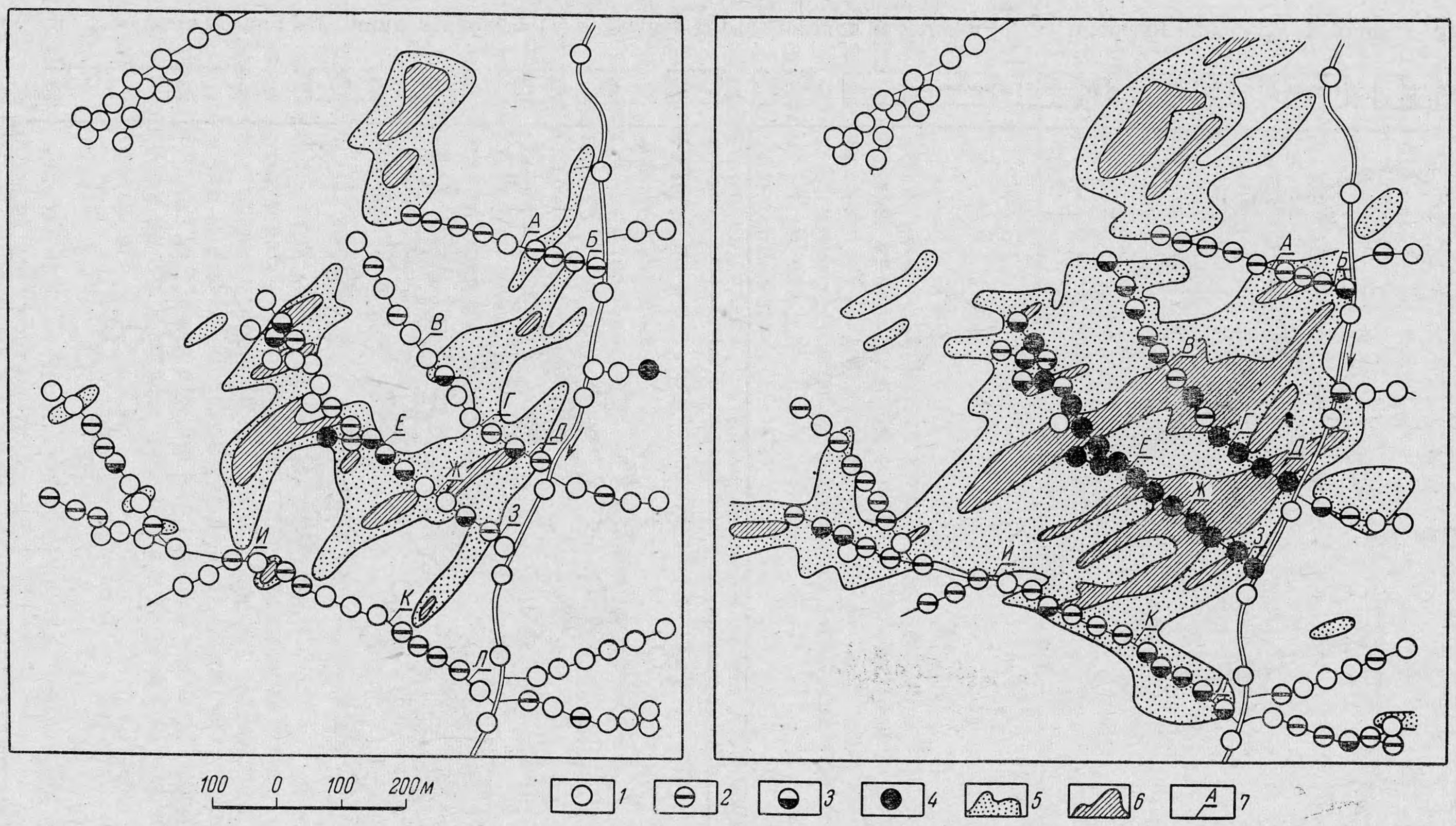


Рис. 25. Ореолы и потоки рассеяния урана и свинца на площади одного из урановых рудопроявлений (по А. Н. Боголюбову)

Содержание элементов в пробах аллювия, *гф*: *1* — урана менее 2, свинца менее 10; *2* — урана от 2 до 8, свинца от 10 до 30; *3* — урана от 8 до 20, свинца от 30 до 100; *4* — урана более 20, свинца более 100. Содержание элементов во вторичном ореоле, *гф*: *5* — урана от 3 до 10, свинца от 10 до 100; *6* — урана более 10, свинца более 100; *7* — пункты, для которых рассчитывался коэффициент *K*

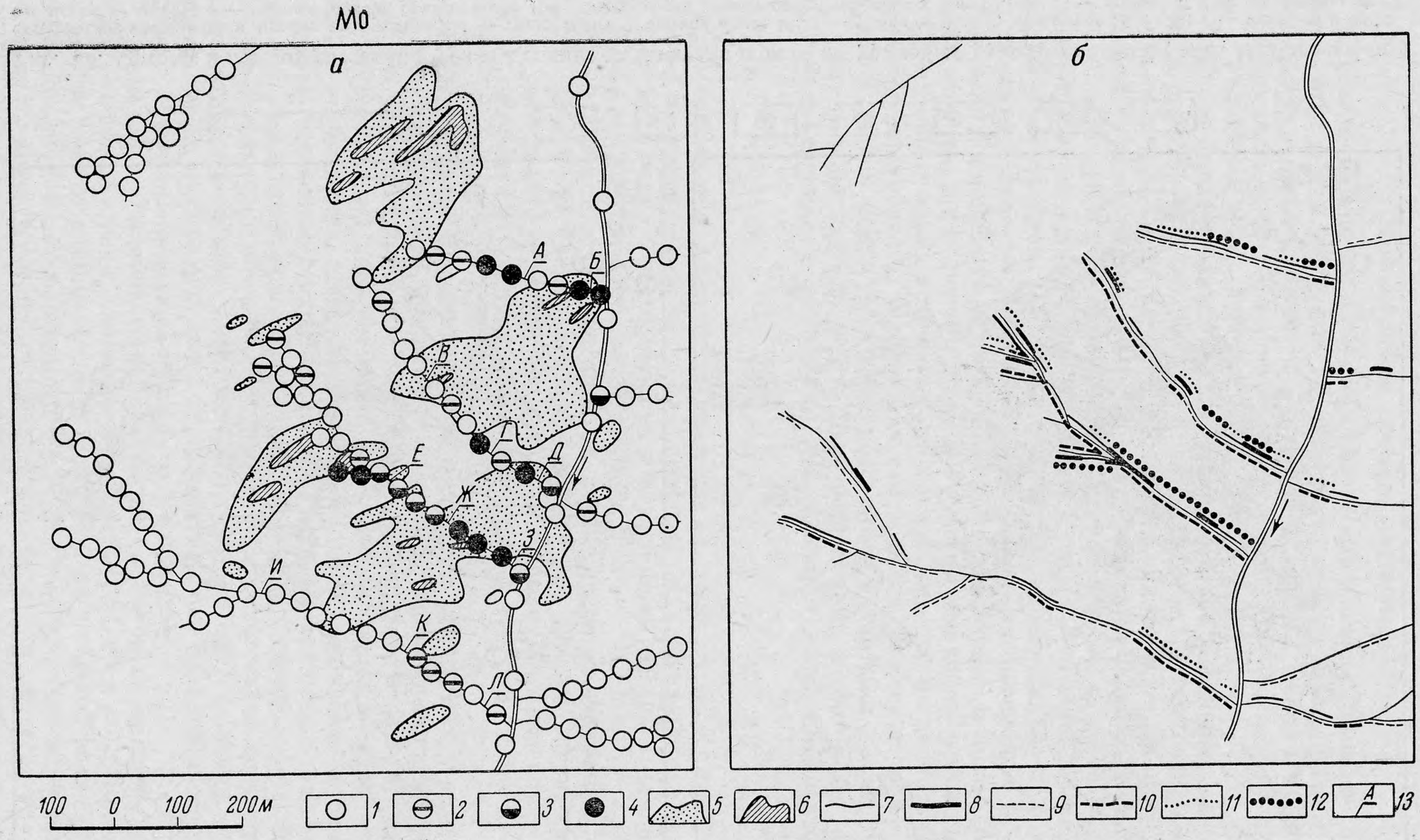


Рис. 26. Ореолы и потоки рассеяния молибдена (*а*) и сводная карта потоков рассеяния (*б*) на площади одного из урановых рудопроявлений (по А. Н. Боголюбову)

Содержание молибдена в пробах аллювия, *гф*: *1* — менее 10; *2* — от 10 до 30; *3* — от 30 до 100; *4* — более 100. Содержание молибдена во вторичном ореоле, *гф*: *5* — от 10 до 100; *6* — более 100. Потоки рассеяния, *гф*: *7* — урана (от 3 до 10); *8* — урана (более 10); *9* — свинца (от 10 до 30); *10* — свинца (более 30); *11* — молибдена (от 10 до 30); *12* — молибдена (более 30); *13* — пункты, для которых рассчитывался коэффициент *К*

Таблица 17

Связь между продуктивностью ореолов и содержанием элементов в потоках рассеяния

Пункт	Уран			Свинец			Молибден			Цинк		
	C'_x, %	P_x/S_x, %	K'	C'_x, %	P_x/S_x, %	K'	C'_x, %	P_x/S_x, %	K'	C'_x, %	P_x/S_x, %	K'
А	0,0004	0,0005	0,8	0,06	0,05	1,2	0,001	0,0006	2,0	0,005	0,017	0,3
Б	—	0,0005	—	0,1	0,1	1,0	0,003	0,0013	2,2	0,008	0,023	0,3
В	0,0004	0,0004	1,0	0,08	0,06	1,3	0,0006	0,0004	1,5	—	0,016	—
Г	0,0004	0,0004	1.0	0,34	0,19	1,8	0,0023	0,0009	2,6	0,09	0,06	1,5
Д	0,0006	0,0006	1,0	0,35	0,2	1,8	0,0024	0,0011	2,2	0,12	0,08	1,5
Е	0,0011	0,0006	2,0	0,32	0,13	2,4	0,0015	0,0008	1,9	0,1	0,03	3,3
Ж	0,0007	0,0006	1,2	0,52	0,16	3,2	0,0027	0,0009	3,0	0,06	0,03	2,0
З	0,0007	0,0006	1,2	0,52	0,19	2,7	0,0023	0,0012	2,1	0,08	0,05	1,6
И	—	0,0004	—	0,026	0,05	—	—	0,0003	—	—	0,013	—
К	—	0,0004	—	0,12	0,06	2,0	0,0008	0,0004	2,0	0,004	0,012	0,3
Л	—	0,0004	—	0,1	0,06	1,7	0,0007	0,0004	1,8	0,004	0,011	0,4
Средние значения			1,2			1,9			2,0			1,2

В табл. 17 приведены содержания урана, свинца, молибдена и цинка в аллювии 11 пунктов, находящихся в пределах одного из районов аридной зоны, а также значения P_x/S_x и коэффициента K' для соответствующих пунктов. В табл. 18 указаны пределы колебаний коэффициента K' для отдельных пунктов (А, Б и т. д., см. табл. 17) и среднеарифметические его значения для всей площади.

Таблица 18

Значение коэффициента K', рассчитанное по опытным данным

Элементы	Пределы колебаний, K'	Средние значения K' для площади
Уран	0,8—2,0	1,2
Свинец	0,5—3,2	1,9
Молибден	1,5—3,0	2,0
Цинк	0,3—3,3	1,2

Как видно из табл. 17 и 18, значение K' для отдельных пунктов меняется в довольно широких пределах, однако в целом по всей площади средние значения K' для отдельных элементов близки между собой и находятся в пределах 1—2. А. П. Соловов (1959) указывал, что при ориентировочных расчетах продуктивности ореолов значения коэффициента K' в формуле $C'_x = K' \frac{P_x}{S_x}$ для большинства металлов могут быть приняты равными 1.

Данные опытных работ подтверждают справедливость этого положения для механических потоков рассеяния урана, свинца, молибдена и цинка, развитых в аллювии мелких водотоков (длиной 1—2 *км*) в горных районах аридной зоны. В таких условиях для приближенного расчета ожидаемой продуктивности ореолов по содержанию элементов в потоках рассеяния можно пользоваться формулой

$$P_x = C_x S_x.$$

При этом ошибки в определении продуктивности ореолов P_x, очевидно, не выйдут за пределы трехкратной величины.

Некоторое отличие средних значений K' для урана и цинка, с одной стороны, и для свинца и молибдена, с другой, обусловлено, по-видимому, тем, что уран и цинк в условиях исследованного района имеют бóльшую подвижность и в бóльших количествах, чем свинец и молибден, мигрируют в растворах, хотя в целом доля миграции элементов в растворах невелика.

Таблица 19

Содержания урана, свинца и молибдена в ореолах и потоках рассеяния некоторых урановых месторождений и рудопроявлений

Месторождения и рудопроявления	Содержания элементов, характерные для центральных частей ореолов				Максимальные содержания элементов в потоках рассеяния			
	Уран		Свинец	Молибден	Уран		Свинец	Молибден
	$n \cdot 10^{-4}$%	гф	%	гф	$n \cdot 10^{-4}$%	гф	%	гф
Месторождение I	100—300	40—120	0,3—1,0	50—150	100—300	40—120	0,3—1,0	100—300
» II	50—100	25—30	0,1—0,3	15—150	30—100	25—30	0,1—0,3	30—100
Перспективное рудопроявление 7	10—20	4—8	0,3—1,0	5—15	10—30	4—8	0,3—1,0	100—300
Рудопроявления глубокоэродированные (корни рудных тел)	2—80	8—30	0,01	1	10—30	4—12	0,01	3
Участок 1	50—80	20—30	0,01	3	10—30	4—8	0,01	3
» 2	5—10	2—4	0,01—0,03	3	2—4	2—4	0,01—0,03	3—10
» 9								

Следует отметить, что формула $C'_x = K' \frac{P_x}{S_x}$ может быть использована для приближенной оценки продуктивности ореолов по данным опробования аллювия в тех случаях, когда потоки рассеяния развиты в мелких водотоках длиной 1—3 *км*. В горных районах с резко расчлененным рельефом и хорошо развитой гидросетью такими водотоками дренируется 90% территории (Боголюбов, Сочеванов, 1959).

Для потоков рассеяния, развитых в аллювии крупных водотоков, связь между содержанием элементов в потоке рассеяния и продуктивностью ореолов сложнее, так как в этом случае соотношения количества рыхлого материала, поступающего в данный пункт гидросети с рудоносных и безрудных участков бассейна, в значительно большей степени зависит от динамики процессов денудации склонов, миграции и отложения в аллювии рыхлого материала. Количественный учет влияния этих факторов пока невозможен. Однако при прочих равных условиях продуктивность потоков рассеяния прямо пропорциональна продуктивности ореолов, и в связи с тем что значения K' для урана и сопутствующих ему элементов отличаются незначительно, отношения содержаний элементов в потоках рассеяния близки к отношению продуктивностей ореолов рассеяния этих элементов, развитых в элювио-делювии.

Благодаря этому на всех урановых месторождениях и рудопроявлениях, расположенных в пределах горных районов аридной зоны, наблюдается хорошее совпадение элементного состава ореолов и механических потоков рассеяния. Урановые месторождения со слабо эродированными и скрытыми рудными телами характеризуются развитием потоков рассеяния урана, свинца, молибдена и цинка, в то время как рудопроявления, рудные тела которых глубоко эродированы, имеют интенсивные потоки рассеяния урана, иногда молибдена, но, как правило, характеризуются низкими содержаниями свинца (табл. 19).

Потоки рассеяния, для которых в табл. 19 приведены максимальные содержания элементов, развиты в аллювии водотоков и сухих логов длиной менее 2 *км*.

Следует отметить, что сопоставление содержаний металлов в ореолах и потоках рассеяния является наиболее простым, но не строгим, так как содержания элементов в потоке рассеяния зависят от положения месторождения в данном бассейне водосбора. Более правильные выводы можно сделать из сопоставления продуктивностей ореолов и потоков рассеяния или отношений содержаний различных элементов соответственно для ореола и потока рассеяния. Так, например, первые три объекта в табл. 19 характеризуются отношениями содержаний (в единицах *гф*) свинца к урану в ореолах от 2,4 до 33 и в потоках от 4,6 до 14, в то время как для глубоко эродированных участков 1, 2 и 9 тот же показатель резко падает, и для ореолов колеблется от 0,12 до 2,2, а для потоков — от 0,12 до 1,0. Как видно из рис. 27, положение потоков рассеяния очень хорошо пространственно совпадает с положением ореолов рассеяния, развитых на водораздельных участках.

Таблица 20

Геохимические фоны урана, свинца и молибдена в коренных породах, элювиально-делювиальных и аллювиальных отложениях некоторых участков, находящихся в горных районах аридной зоны

Вмещающие породы участков	Уран, $n \cdot 10^{-4}\%$			Свинец, $n \cdot 10^{-4}\%$			Молибден, $n \cdot 10^{-4}\%$		
	Коренные породы	Элювио-делювий	Аллювий	Коренные породы	Элювио-делювий	Аллювий	Коренные породы	Элювио-делювий	Аллювий
Верхнепалеозойские эффузивы кислого состава (фельзиты, кварцевые порфиры и др.)	4	3	3	30	30	30	2	2	2
Граносиениты	7	6	5	40	40	40	2	2	1,5
Фельзиты и фельзит-порфиры	2	2	2	15	15	10	1	1	1

К настоящему времени накоплен большой материал, позволяющий судить о геохимическом фоне урана и основных сопутствующих ему элементов в аллювиальных отложениях площадей, сложенных различными породами, и параметрах механических потоков рассеяния этих элементов.

В горных районах, где физическое выветривание резко превалирует над химическим, геохимический фон урана, свинца и молибдена в аллювиальных отложениях водотока близок к геохимическому фону этих элементов в элювиально-делювиальных образованиях и коренных породах, развитых в его бассейне. В приведенных в табл. 20 примерах наблюдается почти полное соответствие фоновых концентраций элементов в коренных породах и рыхлых отложениях.

Геохимический фон урана в аллювии изученных районов колеблется в пределах от $(1—2) \cdot 10^{-4}$ до $(8—10) \cdot 10^{-4}\%$. Минимальным геохимическим фоном урана характеризуются участки, сложенные основными изверженными породами, известняками и некоторыми терригенными породами. Наиболее высокий геохимический фон урана отмечался на площадях развития гранитов и граносиенитов, содержащих повышенные количества акцессорных минералов. Геохимический фон свинца колеблется в пределах $(10—60) \cdot 10^{-4}\%$, молибдена — не выше $3 \cdot 10^{-4}\%$ и цинка — не выше $60 \cdot 10^{-4}\%$. Геохимический фон меди в аллювии колеблется в широких пределах — от $n \cdot 10^{-4}\%$ на участках развития кислых изверженных пород до $n \cdot 10^{-2}\%$ на площадях, сложенных породами основного состава. Геохимический фон мышьяка в аллювии надежно не установлен из-за низкой чувствительности его спектрального определения.

Максимальные содержания урана, свинца и молибдена в механических потоках рассеяния урановых месторождений обычно в 5—20 раз превышают геохимический фон этих элементов в аллювии. На отдельных месторождениях наблюдались и более высокие содержания урана и сопутствующих ему элементов в аллювии (до 50—100 *гф* и выше). В районах со сглаженным

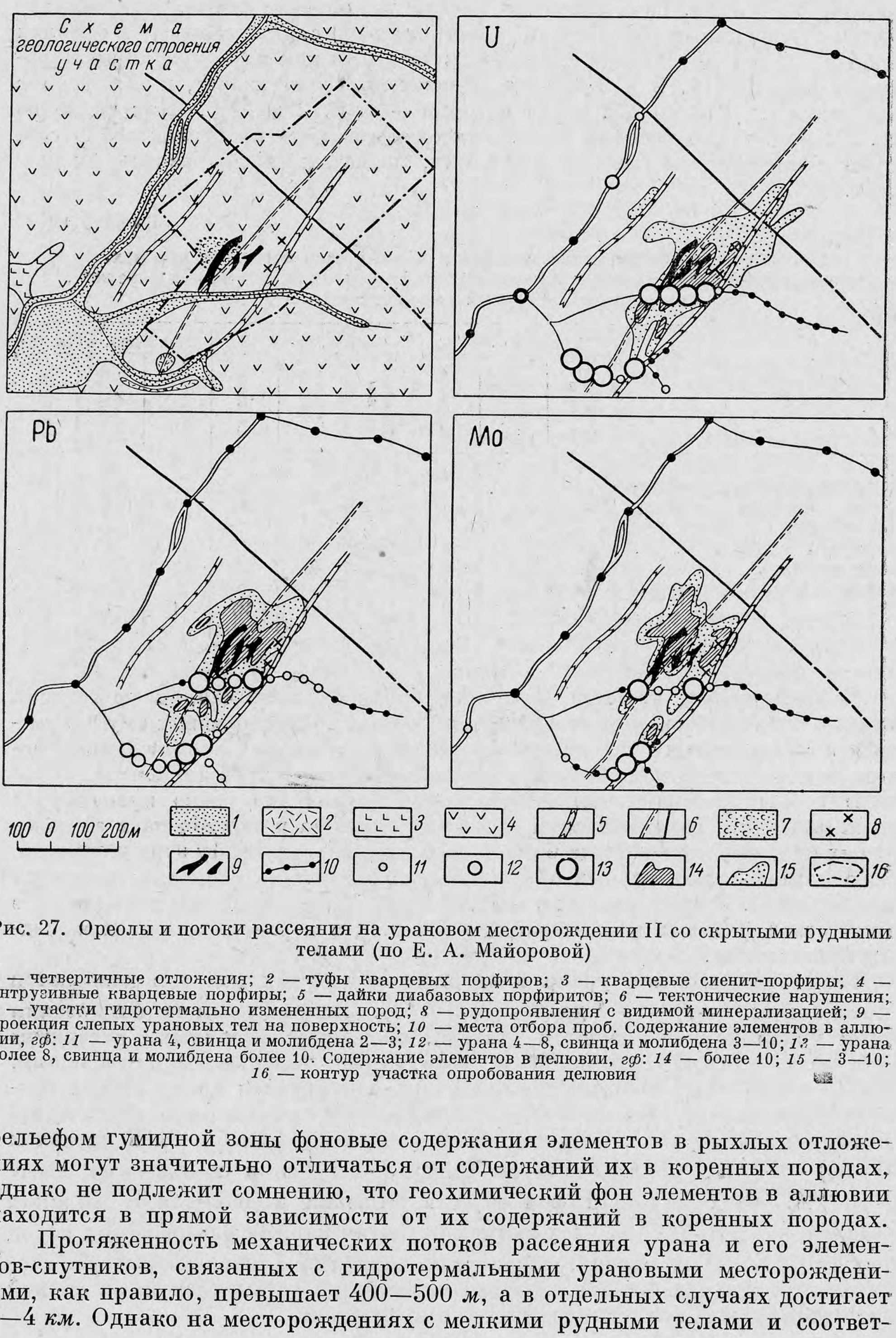


Рис. 27. Ореолы и потоки рассеяния на урановом месторождении II со скрытыми рудными телами (по Е. А. Майоровой)

1 — четвертичные отложения; *2* — туфы кварцевых порфиров; *3* — кварцевые сиенит-порфиры; *4* — интрузивные кварцевые порфиры; *5* — дайки диабазовых порфиритов; *6* — тектонические нарушения; *7* — участки гидротермально измененных пород; *8* — рудопроявления с видимой минерализацией; *9* — проекция слепых урановых тел на поверхность; *10* — места отбора проб. Содержание элементов в аллювии, *гф*: *11* — урана 4, свинца и молибдена 2—3; *12* — урана 4—8, свинца и молибдена 3—10; *13* — урана более 8, свинца и молибдена более 10. Содержание элементов в делювии, *гф*: *14* — более 10; *15* — 3—10; *16* — контур участка опробования делювия

рельефом гумидной зоны фоновые содержания элементов в рыхлых отложениях могут значительно отличаться от содержаний их в коренных породах, однако не подлежит сомнению, что геохимический фон элементов в аллювии находится в прямой зависимости от их содержаний в коренных породах.

Протяженность механических потоков рассеяния урана и его элементов-спутников, связанных с гидротермальными урановыми месторождениями, как правило, превышает 400—500 *м*, а в отдельных случаях достигает 3—4 *км*. Однако на месторождениях с мелкими рудными телами и соответ-

ственно небольшими по продуктивности ореолами рассеяния наблюдались потоки рассеяния длиной лишь 150—200 *м*.

Ширина потока рассеяния и распределение элементов в поперечном сечении его зависят главным образом от ширины русловой части долины, занятой аллювием. В узких *V*-образных долинах максимальные содержания элементов, как правило, приурочены к наиболее пониженной части долины (руслу) ручья; к бортам долины содержания уменьшаются. В корытообразных долинах потоки рассеяния обычно развиваются по всей ширине русловой части, занятой аллювием. Следует отметить, что симметричное распределение элементов в поперечном сечении долины характерно для площадей, расположенных по течению ниже зоны развития ореолов. На участках, где

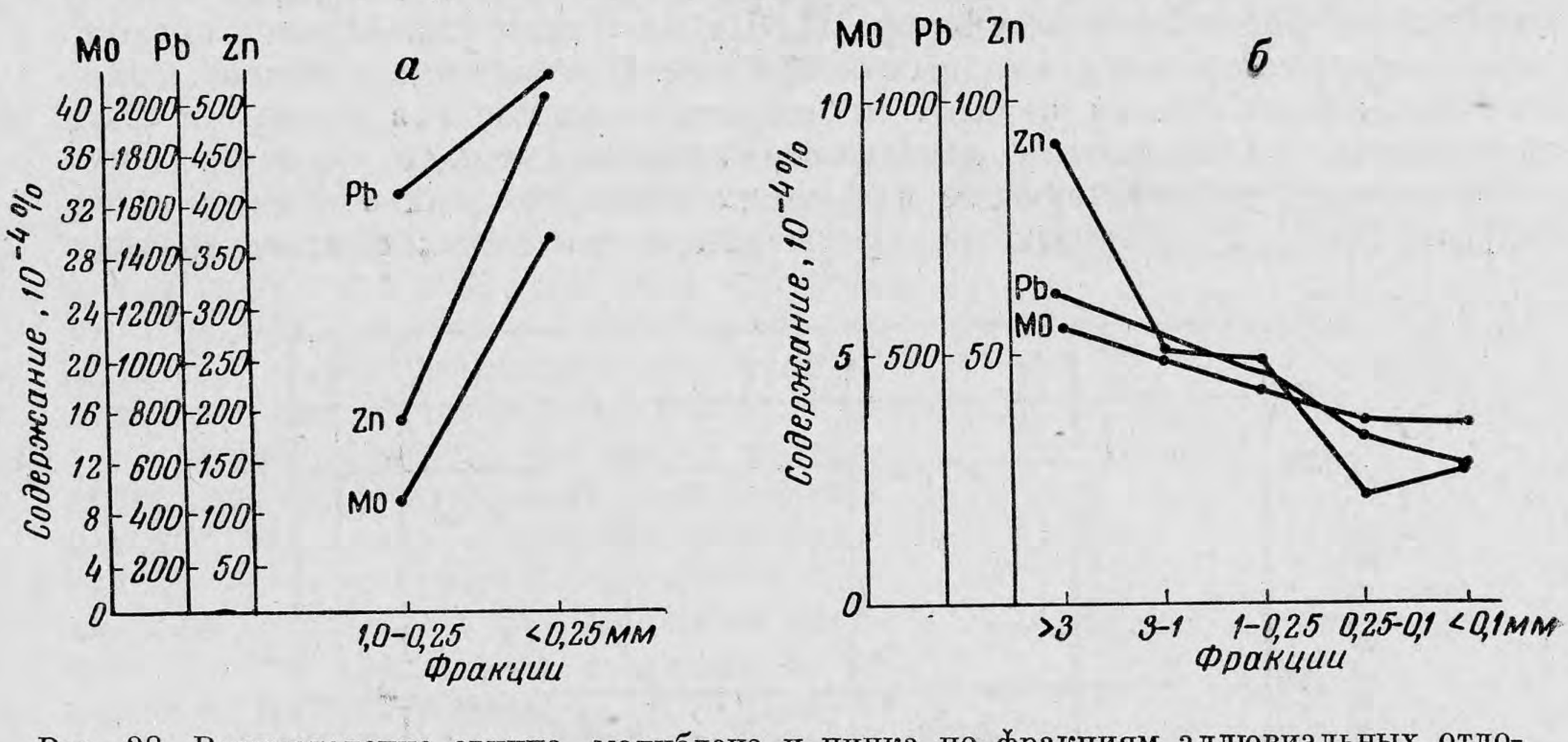


Рис. 28. Распределение свинца, молибдена и цинка по фракциям аллювиальных отложений (по А. Н. Боголюбову)

а — для участка, расположенного в высокогорной части района, *б* — для участка, расположенного в предгорной части того же района

в аллювий непосредственно поступает материал из зоны ореола, поток рассеяния в поперечнике часто имеет асимметричную форму — максимумы концентраций элементов в этом случае отмечаются в пролювии подножья склона, на котором находятся ореолы, являющиеся источником потоков рассеяния.

При механическом рассеянии повышенными концентрациями элементов характеризуются как мелкая (глинисто-алевритовая), так и более крупная (песчаная) фракции аллювия, однако величины концентраций элементов во фракциях разной крупности могут быть различными. Вследствие того что минералы урана, а также молибдена и других элементов-спутников урана обычно встречаются в относительно мелких зернах и по сравнению с породообразующими минералами обладают малой механической стойкостью, содержания указанных элементов в глинисто-алевритовой фракции аллювия, как правило, несколько выше, чем в песчаной.

Иное распределение элементов между фракциями наблюдается в аллювии ручьев (логов), в бассейне которых развиты мелкозернистые рыхлые отложения, сложенные дальнеприносным материалом (например, лёссы), когда в элювиально-делювиальных отложениях, питающих современный аллювий рыхлым материалом, присутствует большое количество пылеватых частиц эолового происхождения, разубоживающих мелкую фракцию аллювия. Это иллюстрируется рис. 28, на котором приведены средние содержания элементов в различных фракциях аллювия двух ураноносных участков, находящихся в аридной зоне. Один из этих участков расположен в высокогорной части района, здесь рыхлый покров представлен элювиально-делю-

виальными отложениями, другой находится в предгорной части, где мелкая фракция элювиально-делювиальных отложений, а в связи с этим и аллювия, разубожена пылеватыми частицами эолового происхождения.

Одной из характерных особенностей механических потоков рассеяния является соответствие их элементного состава составу ореолов рассеяния, развитых в элювиально-делювиальных отложениях. Опыт работ показал, что переход от механических потоков рассеяния к их источнику — ореолам рассеяния, развитым в элювиально-делювиальных отложениях, затруднений не вызывает.

Солевые потоки рассеяния

Солевые потоки рассеяния в аллювии формируются главным образом благодаря сорбции элементов из природных вод илисто-глинистым и органическим материалом аллювиальных отложений. Поэтому интенсивность солевых потоков рассеяния зависит от миграционных свойств элементов и их способности сорбироваться материалом аллювиальных отложений.

Элементы, присутствующие в высоких концентрациях в рудных телах гидротермальных урановых месторождений и связанных с ними ореолах

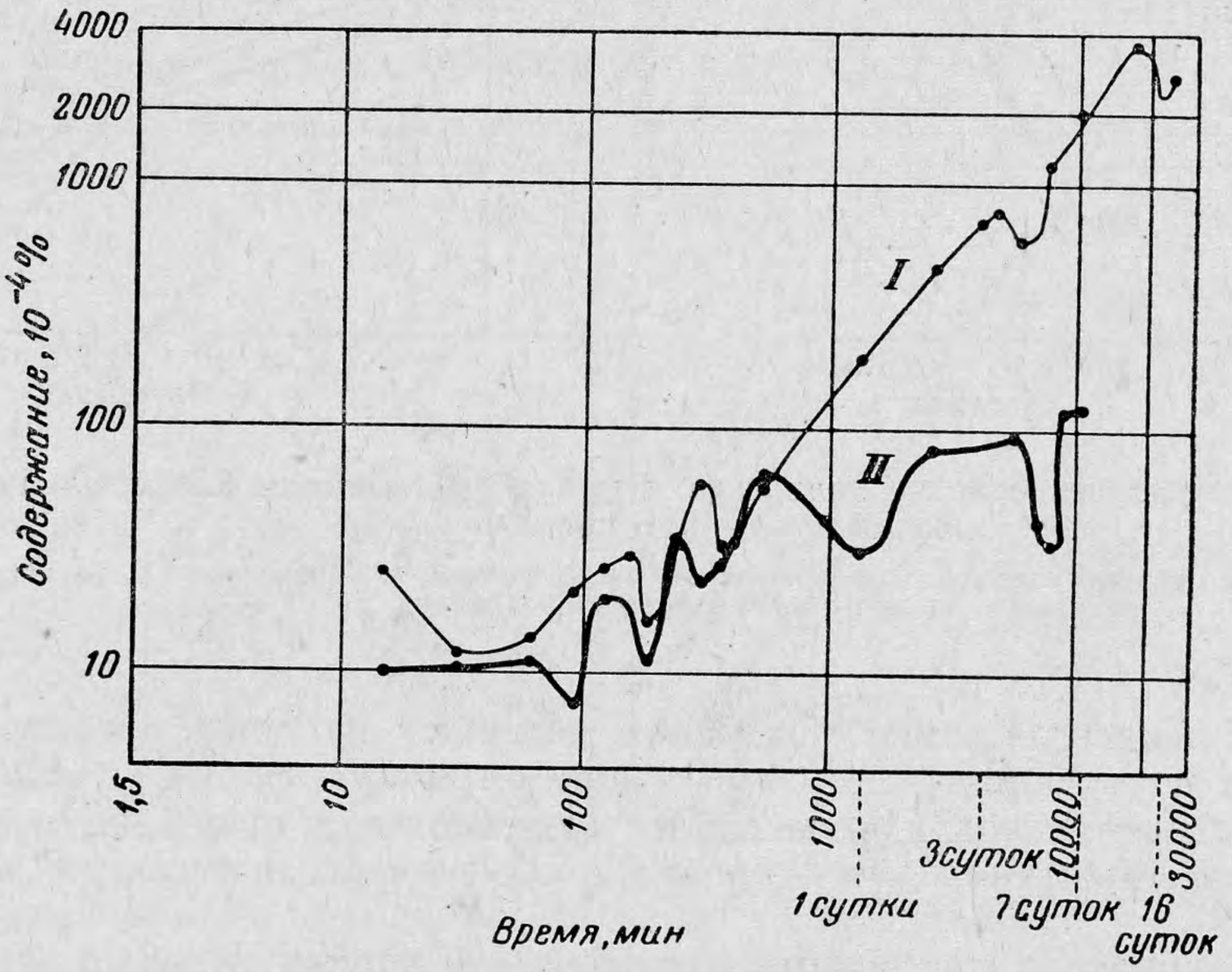


Рис. 29. Графики изменения содержаний урана в пробах сорбентов во времени (по А. Н. Боголюбову)

Сорбент I — гнилая древесина; сорбент II — песчано-глинистый материал

рассеяния (уран, свинец, молибден и др.), обладают различной миграционной способностью, меняющейся в зависимости от ландшафтных условий. Из указанных элементов наибольшей подвижностью в слабокислой, нейтральной и слабощелочной средах, характерных для зоны гипергенеза, обладает уран, коэффициент водной миграции которого обычно колеблется в пределах первых единиц.

Наиболее сильными природными сорбентами для урана являются органические вещества, в частности гниющие растительные остатки — гумус. Здесь наряду с сорбцией имеют место восстановительные реакции. Разлагающиеся органические остатки создают восстановительную обстановку, способствующую восстановлению шестивалентного урана до четырехвалентного. Менее интенсивно уран сорбируется глинистым материалом. Песок имеет ничтожную сорбционную способность.

На рис. 29 показаны результаты опыта по сорбции урана из рудничных вод измельченной гнилой древесиной и лёссовидными суглинками. Воды, с которыми проводился опыт, имеют гидрокарбонатно-сульфатный состав, общая минерализация их 0,64 *г/л*, pH-6,8, содержание урана $6{,}5 \times 10^{-3}$ *г/л*. Опыт проводился в динамических условиях: навески сорбента в матерчатых мешочках устанавливались в водотоке, вытекающем из штольни. Гнилая древесина по сравнению с суглинками значительно более энергично сорбирует уран: по истечении семи суток содержание урана в пробах гнилой древесины достигало 0,2%, а в суглинках лишь 0,012%.

Солевые потоки рассеяния характерны для районов с гумидным климатом, где аллювиальные отложения содержат большое количество растительных остатков. В районах аридной зоны солевые потоки рассеяния урана встречаются сравнительно редко на заболоченных участках — на выходах подземных вод с повышенным содержанием урана. Для одного из районов гумидной зоны установлена прямая зависимость между содержанием урана в водах, имеющих общую минерализацию 40—60 *мг/л*, и в аллювиальных отложениях на выходах этих вод на поверхность. Данные, иллюстрирующие эту закономерность, приведены в табл. 21.

Таблица 21

Зависимость между содержанием урана в водах и донных отложениях
(по Квашневской, Комарову, 1960)

Содержание урана в водах, $n \cdot 10^{-6}$ *г/л*	Содержание урана в донных отложениях, $n \cdot 10^{-4}$%
5	50—100
8,5	100—200
10	200—300
12	300—400
15	400—800

Следует отметить, что такая зависимость имеет место лишь при прочих равных условиях — химическом составе вод, форме нахождения элемента и пр., влияние которых на формирование солевых потоков рассеяния в аллювии не изучено. Как указывают Н. В. Квашневская и В. С. Комаров (1960), «солевые потоки рассеяния урана характеризуются:

а) резким преобладанием урана в наиболее мелкой, илисто-глинистой фракции по сравнению с песчаной фракцией донных осадков; преобладающее количество урана при отмывке шлиха попадает в шлам;

б) приуроченностью наиболее интенсивных аномальных значений к органическим илам, торфяникам и почвам речных долин;

в) приуроченностью головы потока рассеяния к постоянным и сезонным местам выхода грунтовых вод к источникам, заболоченным участкам, мочажинам и др.;

г) наличием в мелкой фракции русловых отложений значительных количеств подвижного урана (80—100%), легко извлекающегося раствором соды или углекислого аммония;

д) резким смещением равновесия в сторону урана, т. е. почти полным отсутствием радия или наличием его в незначительных количествах (10—20% от его равновесного количества);

е) обогащением ураном верхнего, богатого органическими остатками, слоя русловых отложений и резким обеднением вблизи подстилающих глинисто-песчаных отложений».

Условия формирования солевых потоков рассеяния свинца, молибдена, цинка, меди и мышьяка в аллювиальных отложениях не изучены. Исследования, проведенные в нескольких районах, показали, что свинец, цинк и медь не сопровождают уран в солевых потоках рассеяния. Объясняется это, по-видимому, тем, что свинец и медь по сравнению с ураном имеют относительно малую подвижность и менее энергично сорбируются растительными остатками. Цинк легко подвижен в гумидных условиях, но устойчив в растворе и не сорбируется в значительных количествах. Поэтому концентрации этих элементов за счет сорбции из вод обычно не превышают их кларковых содержаний в кластическом материале аллювия. Молибден иногда сопутствует

урану в солевых потоках, образуя высокие концентрации в богатых растительными остатками отложениях мочажин на выходах подземных вод с повышенными содержаниями урана и молибдена.

Экзогенные скопления урана в аллювии

Повышенные концентрации урана в аллювии образуются не только благодаря рассеянию уранового оруденения. Нередко происходит аккумуляция урана в аллювиальных отложениях на безрудных участках, которая может быть обусловлена следующими причинами:

1. Гравитационной дифференциацией минералов, приводящей к образованию россыпей механически устойчивых урансодержащих акцессорных минералов (монацита, циркона и др.).

2. Сорбцией урана органической фракцией аллювиальных отложений из вод, омывающих породы с высоким фоновым содержанием урана.

3. Переходом подвижного шестивалентного урана из вод в нерастворимую четырехвалентную форму в результате восстановительных реакций, протекающих за счет разложения органической составляющей аллювиальных отложений; аккумуляция урана, таким образом, может иметь место при низких концентрациях его в водах.

4. Аккумуляцией в илистых аллювиальных осадках тонкодисперсных (коллоидных) частиц собственно урановых минералов, освобождающихся при гранулярном выветривании пород. Такой процесс накопления урана в аллювии имеет место на площадях, сложенных гранитами, содержащими мельчайшие выделения урановых минералов.

Повышенное содержание урана в аллювии, обусловленное накоплением акцессорных минералов, сопровождается повышенными содержаниями таких элементов, как цирконий, титан, торий, фосфор, иттрий, тантал, ниобий и редкоземельные. Уран, аккумулирующийся в илисто-органической фракции аллювия, иногда сопровождается ванадием, марганцем и редкоземельными элементами.

Элементы, сопутствующие урану в потоках рассеяния гидротермальных месторождений (свинец, цинк, медь), для экзогенных скоплений не характерны и присутствуют, как правило, лишь в кларковых количествах. Молибден обычно в ураноносных илистых аллювиальных осадках также не образует значительных концентраций. Однако в отдельных случаях на участках, сложенных гранитоидами, в гумусовых образованиях на выходах подземных вод отмечались содержания молибдена и урана до $n \cdot 10^{-2}\%$. Однозначной геологической интерпретации такие аномалии пока не получили.

Выводы

1. Механические потоки рассеяния характеризуются таким же элементным составом, как и ореолы рассеяния, развитые в приповерхностной части элювиально-делювиальных отложений, за счет которых формируются потоки рассеяния.

2. Соотношение содержаний урана и сопутствующих элементов в аллювии аналогично соотношению продуктивностей ореолов соответствующих элементов в элювиально-делювиальных отложениях. В связи с этим на участках гидротермальных урановых месторождений со скрытыми и слабоэродированными рудными телами помимо потоков рассеяния урана проявляются потоки рассеяния свинца, молибдена и других элементов-спутников урана. Непромышленные проявления урана с глубоко эродированными рудными телами характеризуются наличием потоков рассеяния урана, иногда молибдена, но отсутствием свинца.

3. Свинец, цинк и медь, сопутствующие урану в рудных телах, ореолах и механических потоках рассеяния гидротермальных урановых месторождений, обычно не сопровождают уран в солевых потоках рассеяния и в экзогенных скоплениях.

Таким образом, элементы-спутники урана в механических потоках рассеяния могут быть использованы в качестве одного из критериев при выделении площадей, перспективных для обнаружения гидротермальных урановых месторождений как с рудными телами, выходящими на поверхность, так и со скрытыми рудными телами, но с выходящими на поверхность ореолами.

ГЛАВА III

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Задачи опытно-методических работ и особенности их проведения

Для использования геохимических методов при поисках в новых районах, где ореолы рассеяния не изучались, целесообразно проведение опытно-методических исследований с целью решения следующих вопросов:

а) установления элементов-спутников урана, которые образуют ореолы вокруг урановых рудных тел и могут быть использованы в качестве их индикаторов;

б) определения величины фонового содержания каждого из элементов в коренных породах и перекрывающих их рыхлых отложениях;

в) выяснения размеров ореолов рассеяния урана и элементов-спутников;

г) выявления вертикальной зональности в строении первичных ореолов и связанных с ней закономерных изменений содержаний элементов;

д) выяснения сопоставимости размеров и элементного состава ореолов рассеяния в рыхлых отложениях и коренных породах;

е) выявления горизонта рыхлых отложений, где устанавливаются наиболее широкие и интенсивные ореолы рассеяния элементов — представительного горизонта для опробования;

ж) установления протяженности потоков рассеяния и представительной для опробования фракции аллювия;

з) определения особенностей гамма-аномалий, обусловленных приповерхностными испарительными скоплениями урановой минерализации.

Если в районе есть месторождения или рудопроявления урана, опытно-методические работы начинают с опробования керна скважин и коренных пород в квершлагах и на поверхности в канавах, пройденных вкрест простирания рудовмещающих трещинных зон и рудных тел. Детальное изучение распределения элементов в коренных породах проводят вокруг двух-трех типичных для месторождения разведанных рудовмещающих трещинных зон или рудных тел, располагающихся в различных геологических условиях.

Наиболее благоприятными для этого являются выработки и скважины, которые располагаются в одном разрезе и пересекают скрытое рудное тело на различных уровнях, а также проходят выше и ниже его. Опробование такого разреза позволяет получить данные о вертикальной зональности в распределении элементов и выявить критерии для отличия ореолов, развитых в надрудных горизонтах, от ореолов, окаймляющих центральные и корневые части рудного тела. При опробовании выработок и скважин сле-

дует выходить за пределы рудных тел и по возможности за границы зон гидротермально измененных пород, сопровождающих рудные тела.

На поверхности отбор проб коренных пород производят по канавам и при хорошей обнаженности — по двум-трем профилям, пересекающим вкрест простирания каждое из выбранных для исследования рудных тел. Расстояние между профилями определяется длиной рудных тел и изменяется от 20 до 50 *м*. Один из профилей — центральный — должен располагаться в одном разрезе со скважинами и подземными горными выработками, в которых производят опробование. Профили продолжают за пределы площади месторождения для того, чтобы выйти в породы, не измененные гидротермальными процессами.

Все опробованные канавы, скважины и подземные выработки документируют в масштабе 1 : 200 и крупнее, что необходимо для правильного понимания закономерностей распределения химических элементов в коренных породах.

После дробления, квартования и истирания все отобранные пробы подвергаются люминесцентному анализу на уран и спектральному анализу на другие элементы*. На первом этапе исследований следует определить содержания свинца, молибдена, меди, цинка, мышьяка, серебра, циркония и других элементов, которые известны в качестве примесей в гипогенных урановых минералах, а также образуют минералы, парагенетически связанные с ураном.

Результаты анализов проб изображают в виде графиков по профилям опробования на одном листе с документацией (рис. 30). Данные анализа проб, отобранных с поверхности (из коренных пород и рыхлых отложений) по нескольким профилям, могут быть представлены в виде карт изоконцентраций элементов. По графикам, составленным по данным опробования выработок и скважин, пересекающих рудное тело на различных уровнях, строят на геологической основе разрезы ореолов.

Протяженность ореолов по вертикали может быть установлена лишь в том случае, когда имеется полный разрез ореолов каждого из элементов вокруг скрытого рудного тела. В таком разрезе наиболее четко проявляется зональность в строении ореолов и возможно вычисление величин продуктивностей, средних содержаний элементов и их отношений на различных уровнях рудного тела, выше и ниже его. Эти отношения наряду с другими признаками используют при оценке ореолов, выявленных поисковыми работами на новых участках.

При недостаточном вскрытии месторождения или рудопроявления, например при единичных пересечениях рудных тел горными выработками, признаки зональности могут быть получены косвенным путем — сопоставлением ореолов над скрытыми или слабоэродированными рудными телами, прослеживающимися на значительную глубину, и эродированными рудными телами, не прослеживающимися на глубину.

Для установления сопоставимости размеров и элементного состава ореолов в коренных породах и рыхлых отложениях необходимо параллельно с опробованием коренных пород производить опробование элювиально-делювиальных отложений**. Опробование элювиально-делювиальных отложений и коренных пород проводят по одним и тем же профилям, выходящим за пределы площади рудопроявления (месторождения). Обязательным условием при этом является отсутствие загрязнений поверхности продуктами вскрытия и отработки месторождения — отвалами, хвостами обогатительных фабрик и пр.

---

* Методика отбора и обработки проб из коренных пород и характер геологической документации описаны в разделе «Опробование коренных пород».

** Методика отбора проб из рыхлых отложений описана в разделе «Опробование элювио-делювиальных отложений».

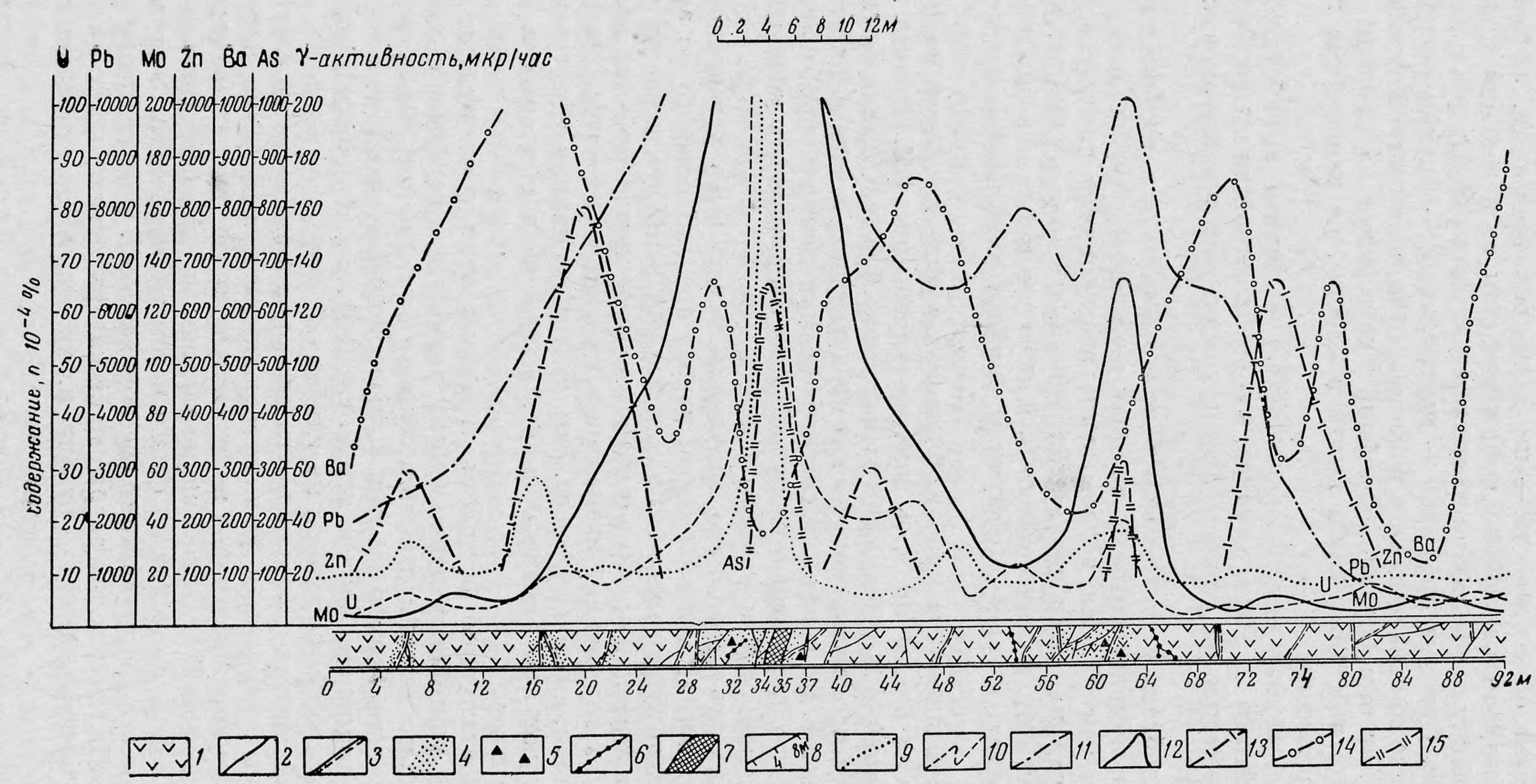


Рис. 30. Кривые распределения концентраций элементов в породах по квершлагу, пересекающему рудоносную трещинную зону

1 — туфы кварцевых порфиров; *2* — тектонические трещины; *3* — тектонические трещины с глинкой трения; *4* — покраснение пород; *5* — вкрапленность галенита; *6* — кальцитовые прожилки; *7* — рудоносная зона; *8* — интервалы опробования квершлага; *9* — кривая гамма-активности пород. Графики распределения: *10* — урана; *11* — свинца; *12* — молибдена; *13* — цинка; *14* — бария; *15* — мышьяка

Выбор элементов-спутников урана

Элементы-спутники урана устанавливают путем сопоставления содержаний урана (или кривых гамма-активности) и других элементов в пробах, отобранных в урановых рудных телах и их ореолах. Для этого по данным химического и спектрального анализов проб на основе детальной геологической документации строят графики распределения концентраций элементов в коренных породах по профилям опробования.

Из графиков на рис. 30 видно, что вокруг уранового рудного тела образуются ореолы урана, свинца и молибдена. Свинец и молибден входят в состав галенита и молибденита, парагенных с урановой смолкой. Мышьяк также обнаруживает связь с ураном, однако ореолы мышьяка из-за низкой чувствительности спектрального анализа полностью не выявляются, и мышьяк фиксируется только в пробах с высокими содержаниями урана. Другие элементы вокруг рудного тела ореолов не образуют и пространственно с ураном не связаны. Таким образом, из графика следует, что в данном случае элементами, сопутствующими урану, являются свинец, молибден и мышьяк. При этом элементами-индикаторами уранового рудного тела, кроме урана, являются свинец и молибден, образующие широкие ореолы. При наличии данных опробования коренных пород по нескольким параллельным профилям на поверхности или в горных выработках элементы, сопутствующие урану, определяются с большей уверенностью.

На рис. 31 приведены карты изоконцентраций элементов, составленные по результатам опробования коренных пород в горных выработках на одном из урановых рудопроявлений. Из анализа приведенных материалов следует, что ореолы вокруг урановых рудных тел образуют уран, цирконий и молибден. Цирконий и молибден являются элементами, сопутствующими урану. В отличие от них свинец и цинк связаны с проявлением другой (неурановой) стадии минералообразования и, следовательно, не могут являться в условиях данного рудного поля элементами-индикаторами урановых рудных тел.

В случае проведения поисковых работ в районах, где урановые месторождения неизвестны, при установлении элементов, которые могут являться спутниками урана, следует исходить из следующих общих положений.

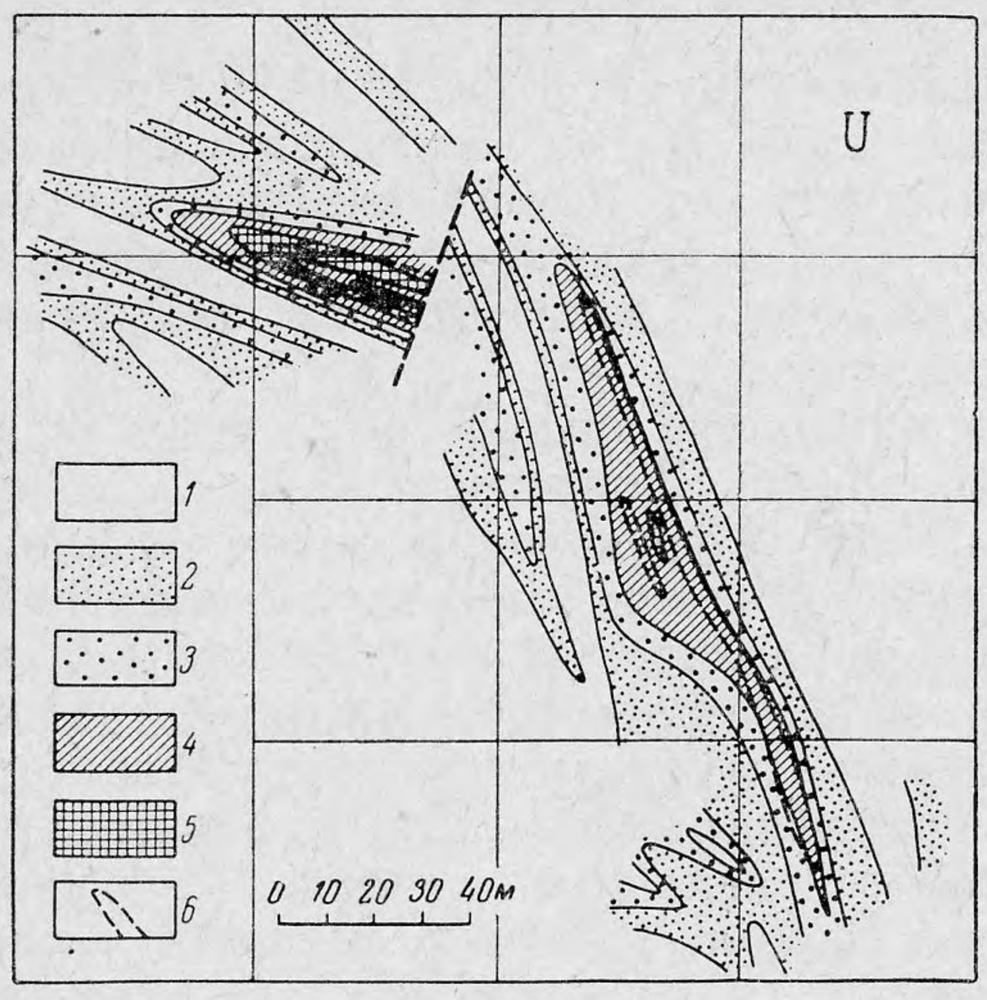
1. Наибольшей распространенности элементов в рудах гидротермальных урановых месторождений. К таким элементам относятся в первую очередь свинец, молибден, мышьяк, менее распространены серебро, сурьма, цинк, висмут (см. рис. 1).

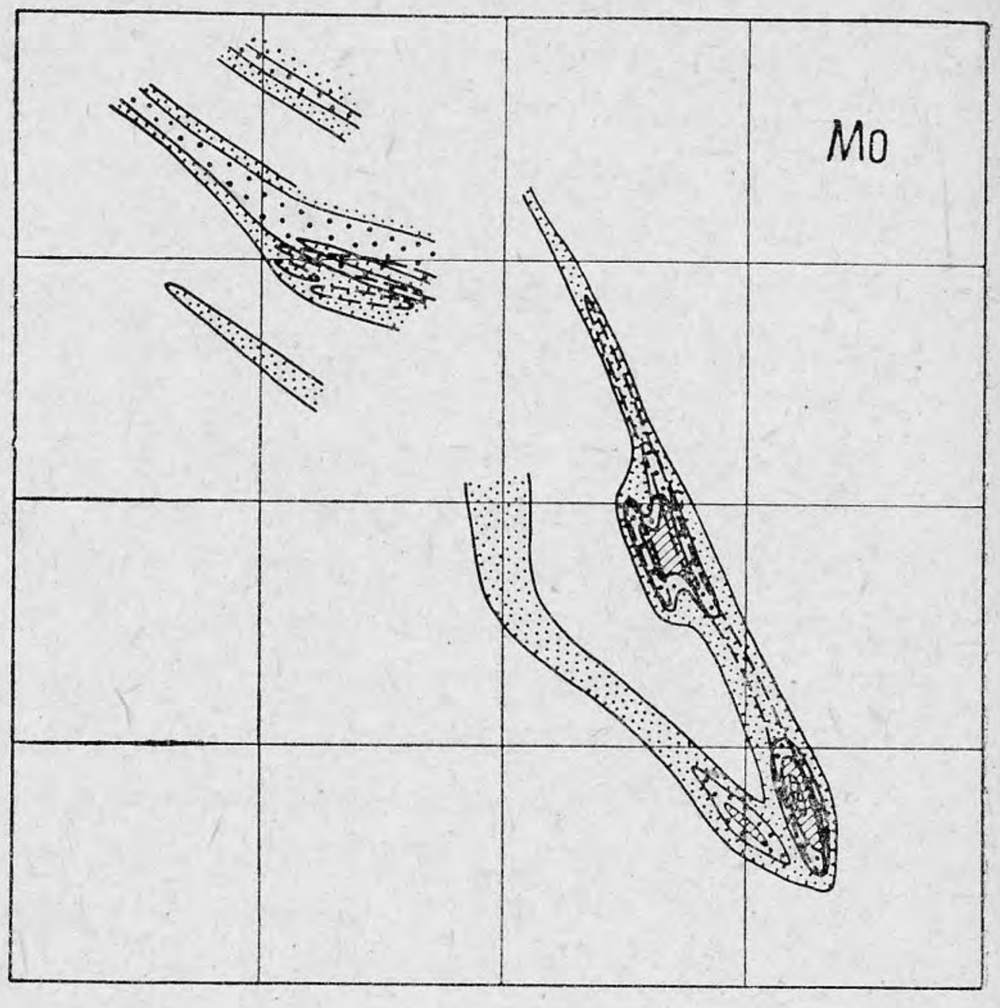
2. Наибольшей распространенности элементов, которые присутствуют в рудах гидротермальных месторождений средних температур. Как показало обобщение геохимических спектров рудных месторождений по температурам их образования, для среднетемпературных месторождений характерны: свинец, серебро, цинк, медь, мышьяк, молибден, сурьма, висмут и кобальт. В новом районе с еще невыявленными урановыми месторождениями спектральный анализ проб следует производить на широкий круг элементов, перечисленных выше.

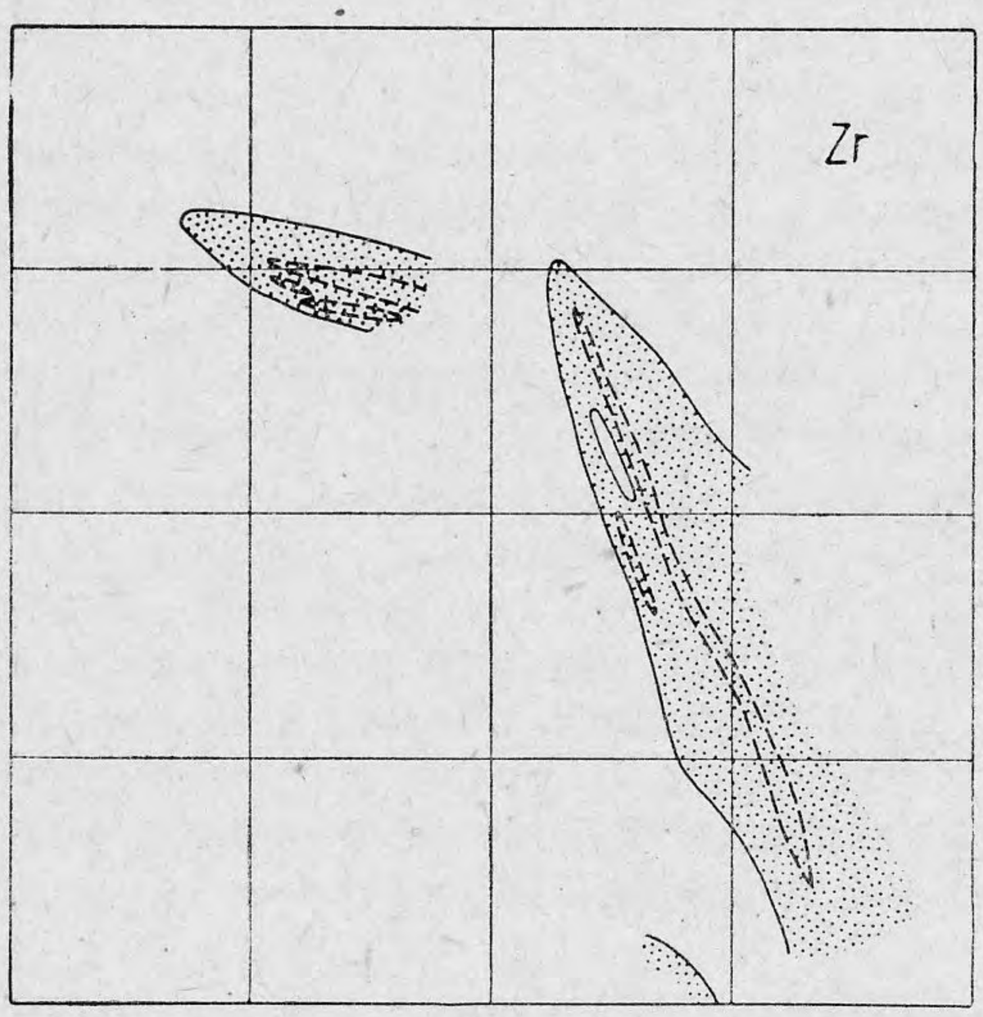
Производство спектрального анализа на широкий круг элементов обосновывается еще и тем, что на площади опоискования наряду с урановой минерализацией могут быть выявлены проявления других металлов. Спектральный анализ обеспечит, таким образом, комплексность поисков. С этой целью в отбираемых пробах рационально определять также содержания вольфрама, олова и никеля. Присутствие последних вместе со свинцом и молибденом одновременно может являться одним из признаков для отбраковки ореолов, связанных с неурановыми рудопроявлениями.

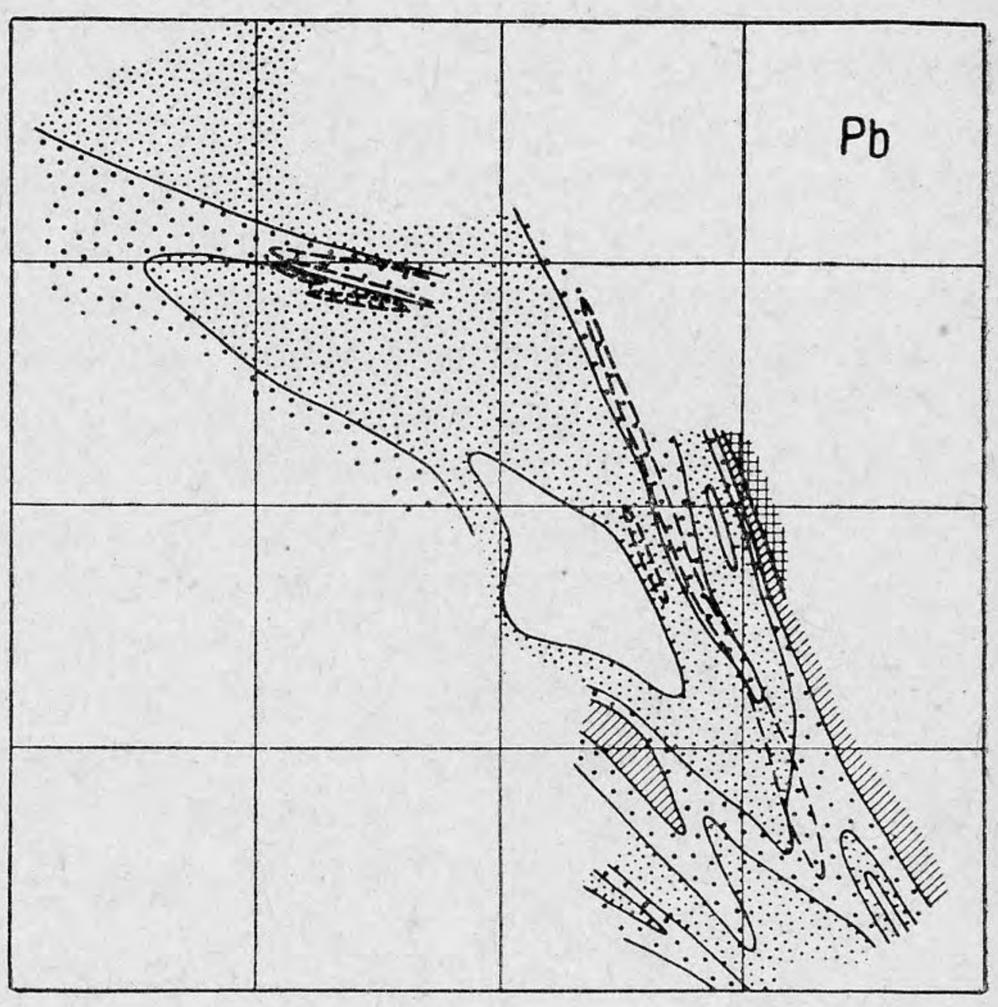
Определение геохимического фона и выделение минимальной аномалии

Среднее содержание каждого элемента в удаленных от аномалий участках (геохимический фон) неодинаково, поэтому выделение небольших аномалий, которые характерны для ореолов рассеяния, развивающихся над скрытыми









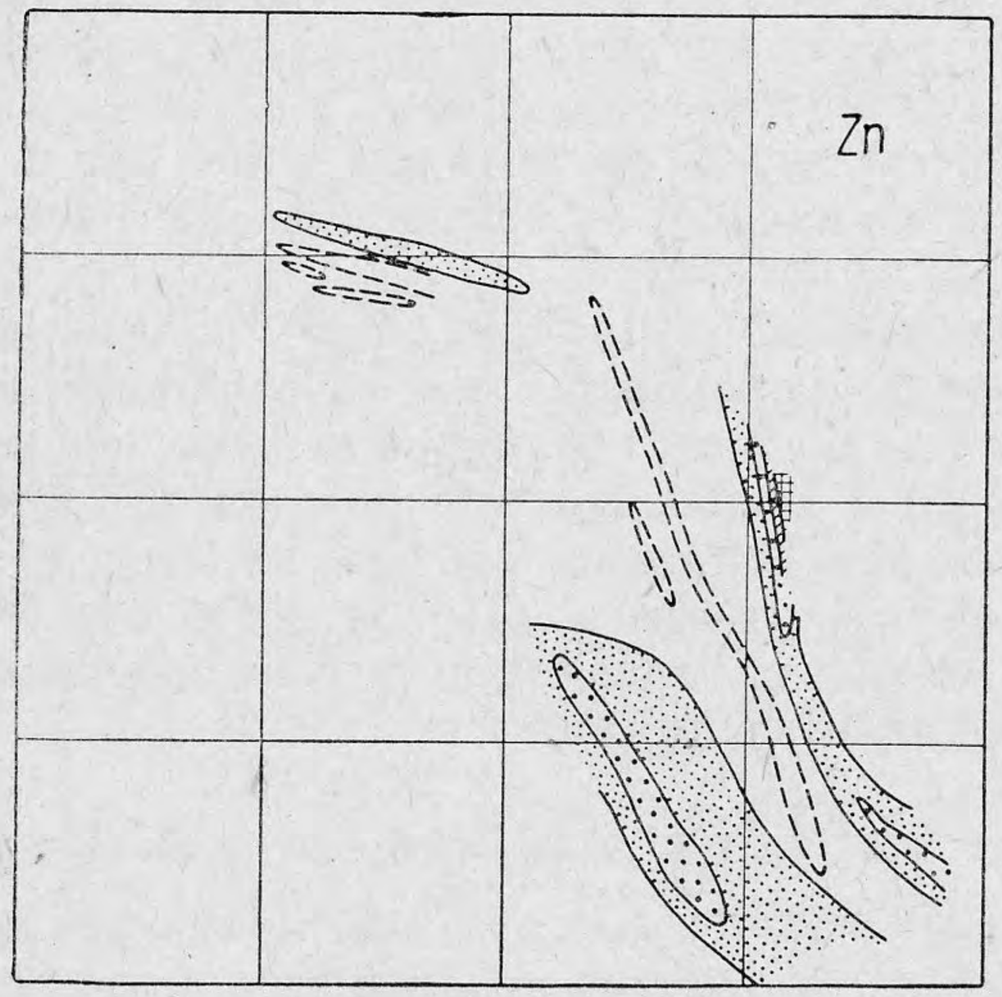


Рис. 31. Распределение химических элементов вокруг урановых рудных тел на штольневом горизонте рудопроявления (по В. М. Константинову и Н. А. Судаковой)

Содержание элементов в ореолах рассеяния, *гф*: *1* — до 3; *2* — от 3 до 10; *3* — от 10 до 30; *4* — от 30 до 100; *5* — более 100; *6* — рудные тела

рудными телами, требует знания геохимического фона для каждого из изучаемых элементов в различных геологических образованиях (коренных породах, элювио-делювии, аллювии и т. д.) исследуемой площади.

С этой целью многочисленные определения элемента по профилю или площади сводят в классы, разделенные через равные интервалы содержаний, и определяют количество анализов в каждом классе. Число классов обычно колеблется от 6 до 12 и зависит от количества анализов и интервала колебания содержаний. Эти данные обрабатывают в виде так называемых вариационных кривых, при построении которых по оси абсцисс откладывают интервалы классов в линейном или логарифмическом масштабе, по оси ординат — количество проб каждого класса, выраженное в процентах к общему числу проб.

Обычная вариационная кривая имеет один максимум (абсцисса максимума называется модой). Иногда кривая усложняется дополнительными максимумами. При крупных интервалах классов или малой чувствительности анализа мода может находиться в первом классе, и тогда левая ветвь кривой отсутствует (рис. 32). Если позволяют условия, лучше всего взять несколько сотен проб на участке, где аномалии заведомо отсутствуют, и тогда константы — геохимический фон и среднее квадратичное отклонение — могут быть вычислены независимо от аномалий.

Чаще всего мы имеем сложные распределения, где значения фоновые и аномальные не разделены, причем, как правило, фоновых содержаний много и обычно число их больше, чем число аномальных. В этом случае перед исследователем ставится задача выделить величину геохимического фона и минимальной аномалии, основываясь главным образом на малых содержаниях, обусловленных фоном.

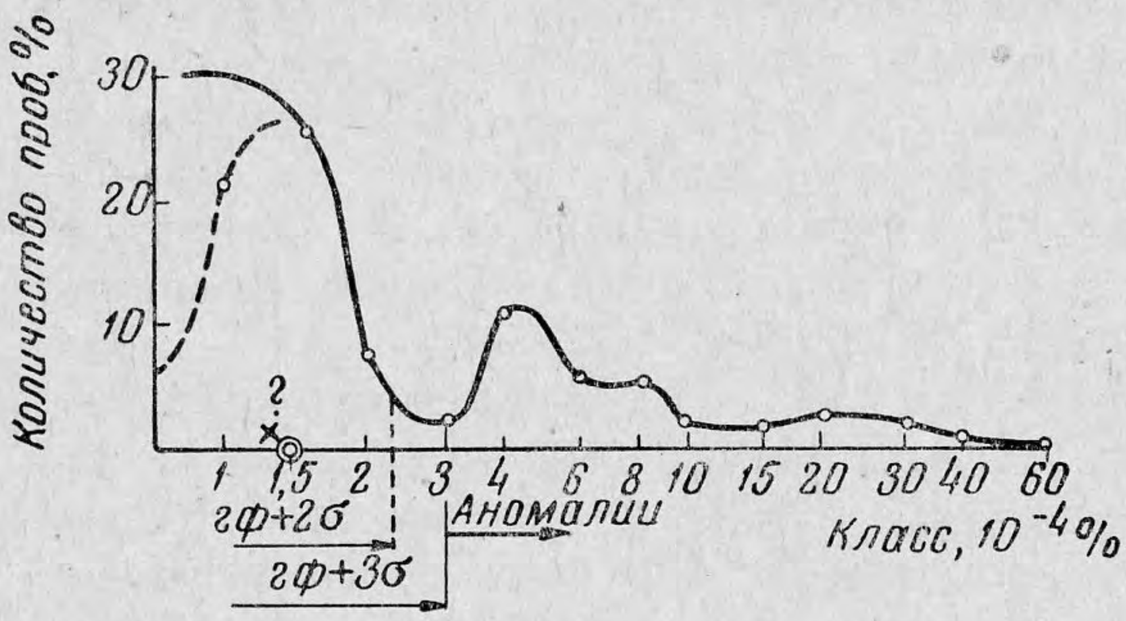
Для анализа вариационных кривых материал должен быть подобран так, чтобы опробованная площадь была достаточно велика, а число анализов, расположенных вне ореолов, было значительно (более 150—200) и во всяком случае больше, чем число аномальных определений.

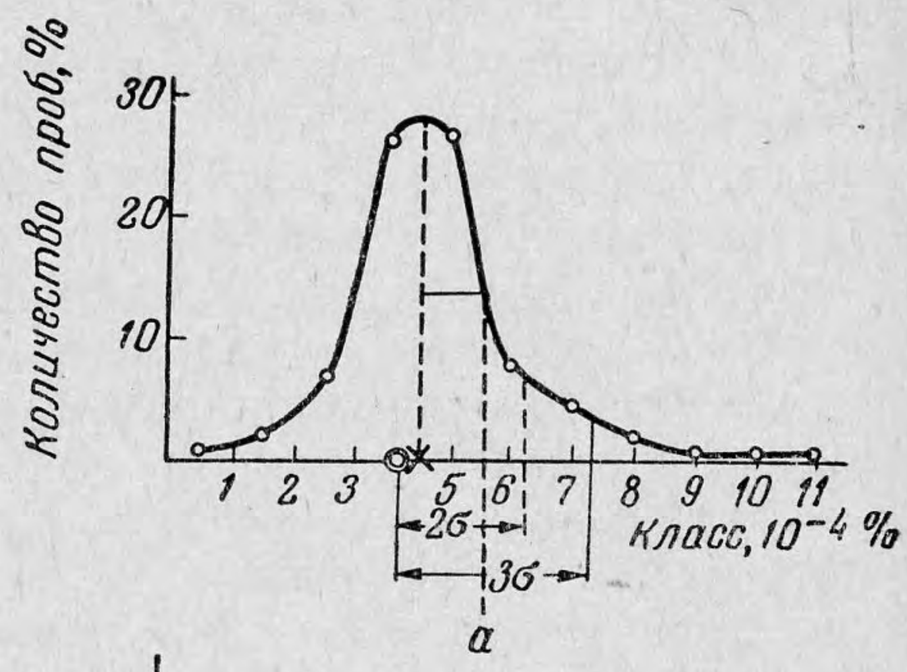
Определение фона. Часто употребляют такой приближенный прием разделения фона и минимальной аномалии. Строят вариационную кривую распределения по классам, ординату моды делят пополам и из полученной точки проводят горизонтальную линию до встречи ее с правой ветвью вариационной кривой. Абсциссу точки пересечения считают за минимальное значение аномалии (a). Для нормального распределения эта величина будет приблизительно равна $гф + 1{,}17\sigma$, где $гф$ — среднее значение фона, равное моде, а σ — среднее квадратическое отклонение фона (рис. 33). Малые значения содержаний известны наименее точно, так как они находятся близ порога чувствительности анализа, и классы и сама мода в этом случае известны неточно, поэтому добавление к фону $\sim 1{,}2\sigma$ не обеспечивает надежного установления нижней границы аномалии. Этот способ определения минимальных аномалий наименее точный и его применение в дальнейшем не рекомендуется.

Определение среднего значения фона, среднего квадратичного отклонения и аномальных значений по кривой накопления. Нахождение указанных величин можно сделать по кривой накопления, построенной на В-трафарете (вероятностный трафарет, рис. 34). На оси ординат трафарета отложены относительные накопления частот в процентах по аргументу t для функции нормального распределения $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{t2}{r}}\, dt$. Это избавляет нас от пересчета процентов накопления в аргумент функции t или пользования таблицами интеграла вероятностей, и мы можем, отложив по ординате проценты накопления, а по абсциссе содержание правой границы класса, определить точку (x, t).

Определив таким образом по нашим данным 10—12 точек, получим линию накопления частостей, пересечение которой с горизонтальной линией «50%» даст среднее значение содержаний ($гф$), а угол наклона к оси абсцисс определит среднее квадратичное отклонение (σ). Последнее на чертеже

равно разности абсцисс, соответствующих процентам накопления: 50 и 84% или 84 и 98%, или 98 и 99,9%. Стало быть, горизонтальное проложение между 50 и 99,9% равно 3σ. Содержание, отвечающее половине накопления (50%),





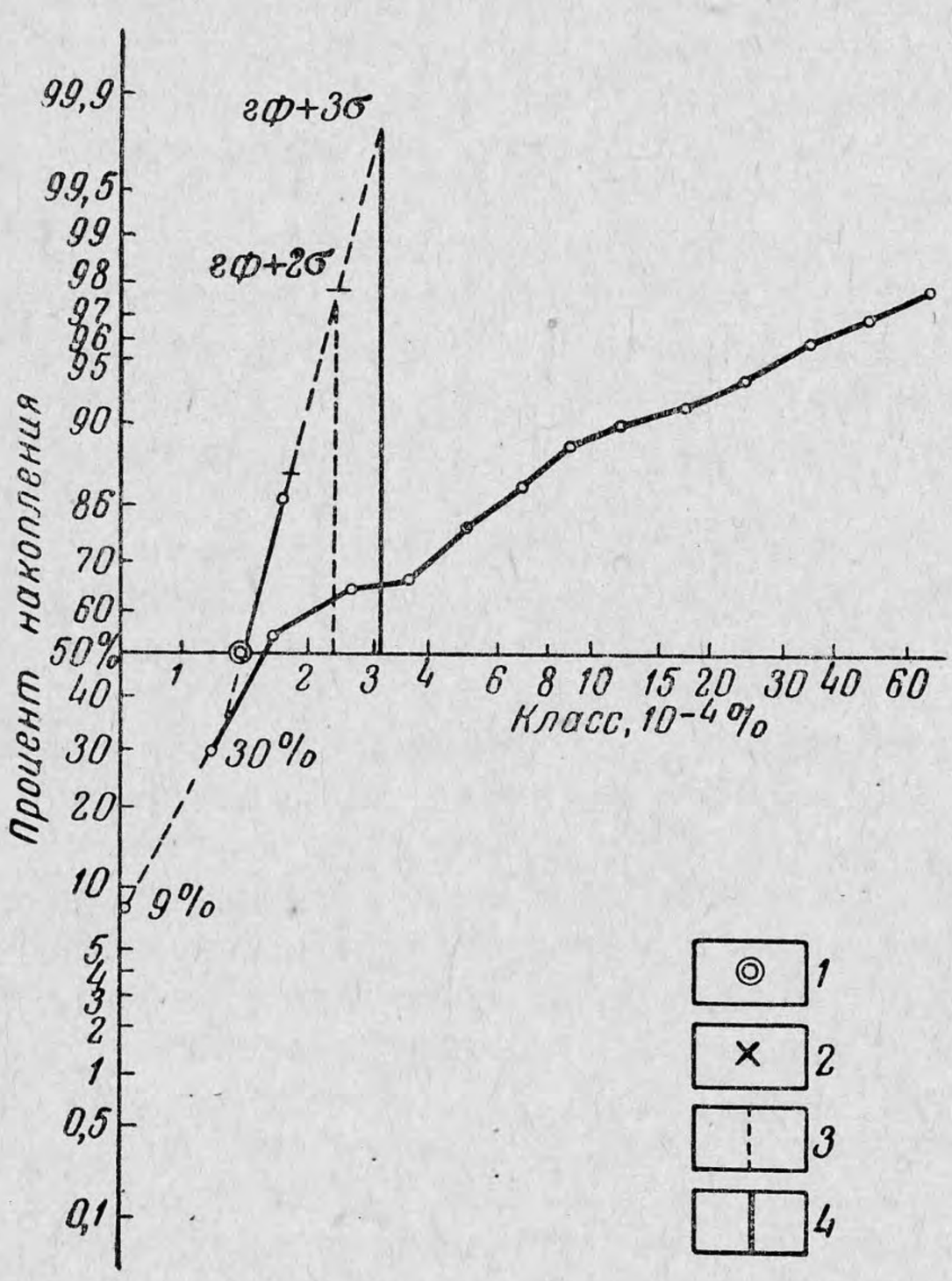


Рис. 32. Вариационные и кумулятивные кривые для определения геохимического фона, минимальной и уверенной аномалий молибдена (по Н. К. Разумовскому)

1 — геохимический фон по кумулятивной кривой; *2* — геохимический фон по моде вариационной кривой; *3* — граница минимальной аномалии ($гф+2\sigma$); *4* — границы уверенной аномалии ($гф+3\sigma$)

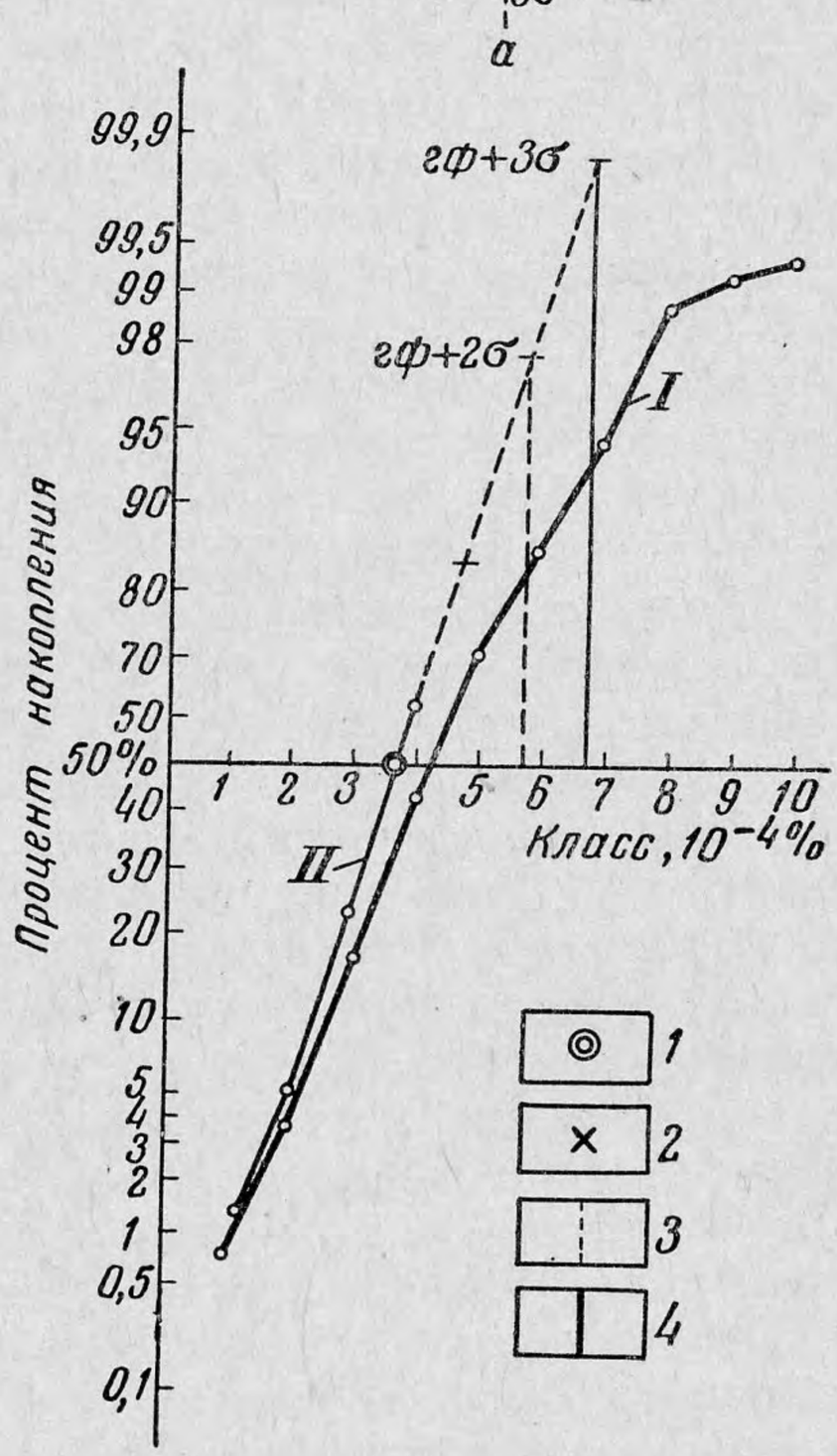


Рис. 33. Вариационные и кумулятивные кривые для определения геохимического фона, минимальной и уверенной аномалий урана (по Н. К. Разумовскому)

1 — геохимический фон по кумулятивной кривой; *2* — геохимический фон по моде вариационной кривой; *3* — граница минимальной аномалии ($гф+2\sigma$); *4* — граница уверенной аномалии ($гф+3\sigma$)

называется медианой данной совокупности чисел и при нормальном распределении равно среднеарифметическому содержанию, а также и моде.

В отличие от моды, нахождение которой часто затруднительно, медиана устанавливается легко и ее определение более точно. В асимметричных распределениях эти три величины не равны между собой, и нахождение одной из них не обеспечивает знания другой. Если точки на кривой накопления приблизительно ложатся на прямую линию, распределение можно считать нормальным, т. е. подчиняющимся вышеуказанной функции. В этом случае все

три параметра — медиана, средняя арифметическая и мода — равны и легко отсчитываются по горизонтали 50%. Приведем три типичных примера *.

Пример 1. Рассматриваются содержания урана по 261 пробе люминесцентного анализа (см. рис. 33). Находим проценты числа проб в каждом классе, строим вариационную кривую и, суммируя эти проценты проб, кривую накопления (см. рис. 33, кривая *I*). Делаем допущение, что до класса $5 \cdot 10^{-4}$% (следующая точка за модой в сторону больших содержаний) прак-

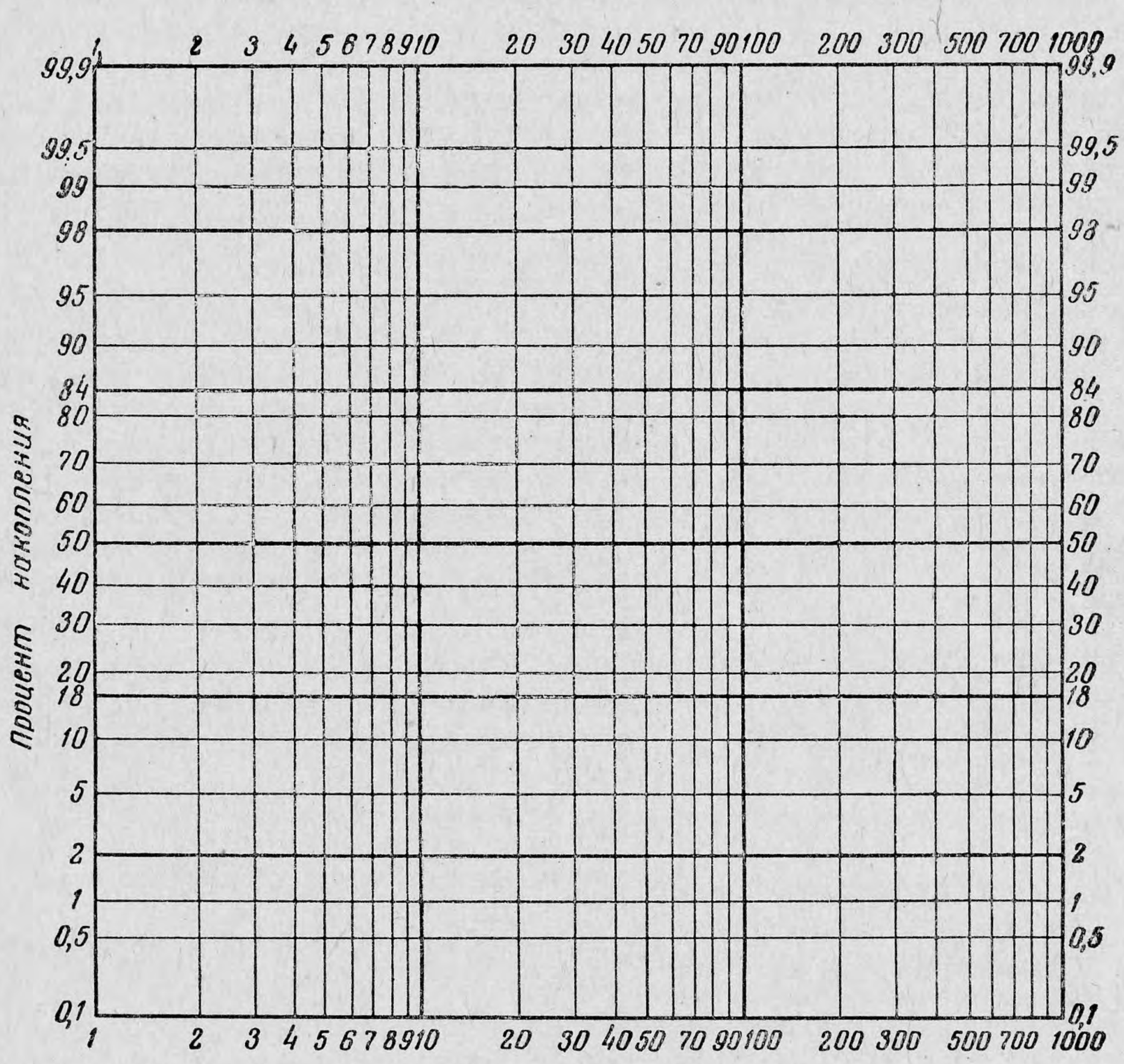


Рис. 34. Трафарет вероятности для построения кумулятивных кривых (по Н. К. Разумовскому)

тически накоплены все значения фона, т. е. примем накопления до этого класса за 100%. Пересчитываем проценты в классах 1, 2, 3 и $4 \cdot 10^{-4}$% и строим исправленную кривую накопления только для фона (см. рис. 33, линия *II*). По существу, вычисление общего накопления по всем пробам и построение кривой *I* при установлении геохимического фона не требуется, здесь они приводятся для взаимного сопоставления. Класс с накоплением 100% в кумулятивной кривой не используется, так как остается за пределами шкалы по оси ординат.

Определяем по пересечению линий *II* и 50% накопления среднее значение фона — $4{,}2 \cdot 10^{-4}$%. Горизонтальное проложение между 50 и 99,9% составляет: 7,3—4,2 = 3,1, откуда $\sigma = 1{,}03$, и уверенные аномалии можно считать примерно с $7 \cdot 10^{-4}$%. Что касается содержания $6 \cdot 10^{-4}$%, то оно

---

* Рассмотренные ниже способы определения фона имеют недостатки и требуют дальнейшей разработки. — *Прим. ред.*

лежит около значения *гф* $+ 2\sigma$ и принадлежит к сомнительным аномалиям. Если при рассмотрении карт отбора проб таких содержаний много и они расположены в пределах одного контура или внутри более высоких значений, их следует причислять к аномалиям, если же это отдельные, разобщенные между собой пробы, незакономерно распределенные среди еще более низких значений, то их надо относить к фону.

Пример 2. Взяты 346 спектральных анализов проб на свинец, отобранных из квершлага уранового месторождения VIII. Горизонтальная шкала для построений принята логарифмическая. Накопление для фоновых содержаний в классе $15 \cdot 10^{-4}$ % принято за 100% (рис. 35). При этом допущении графическое среднее значение геохимического фона получилось равным $14 \cdot 10^{-4}$%. Уверенная аномалия — $26 \cdot 10^{-4}$%. Принимаем все значения от $30 \cdot 10^{-4}$% и выше как аномальные. Что касается интервала $20 - 26 \cdot 10^{-4}$%, лежащего в пределах *гф* $+ 2\sigma$ и *гф* $+ 3\sigma$, то эти значения являются аномалиями только в том случае, если расположены среди других аномальных значений. Если за 100% накопления фоновых значений принять следующий класс $-20 \cdot 10^{-4}$%, то величина *гф* составит $15 \cdot 10^{-4}$%, а *гф* $+ 3\sigma$ около $30 \cdot 10^{-4}$%, т. е. перенесение суммирования на один класс практически очень мало сказалось на конечном результате.

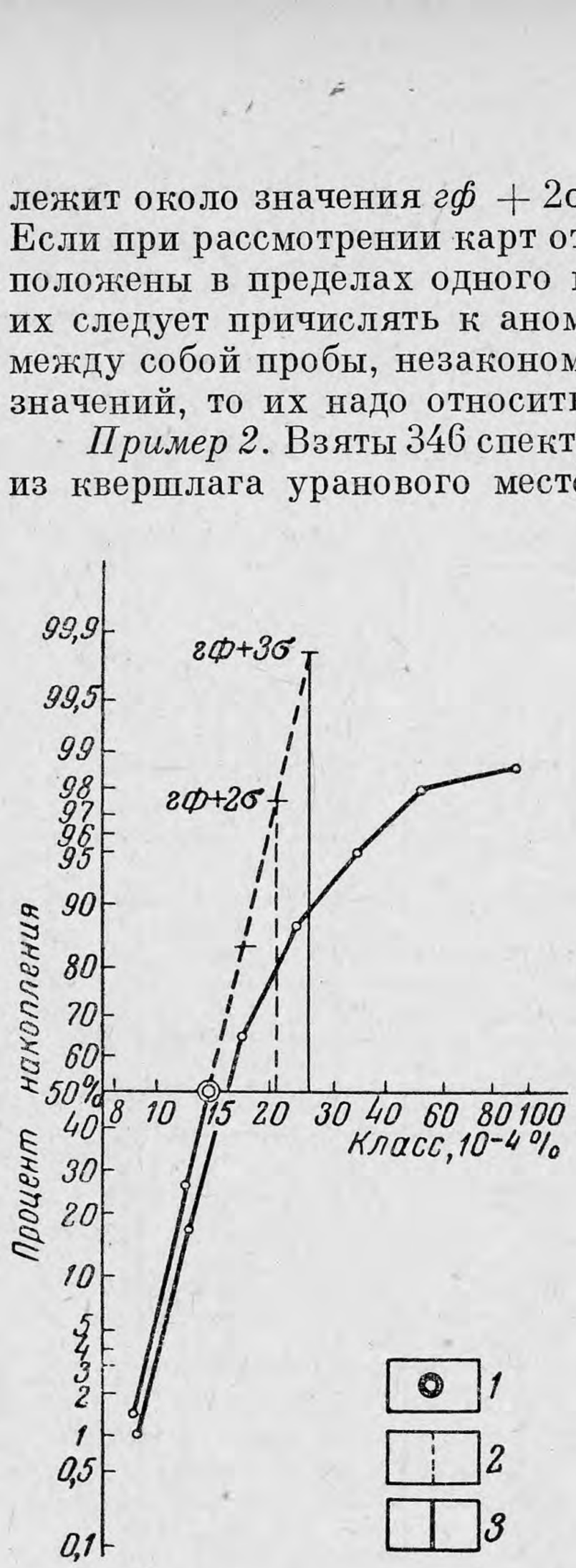


Рис. 35. Кумулятивная кривая для определения геохимического фона, минимальной и уверенной аномалий свинца (по В. К. Разумовскому)

1 — геохимический фон по кумулятивной кривой; *2* — граница минимальной аномалии (*гф*$+2\sigma$); *3* — граница уверенной аномалии (*гф*$+3\sigma$).

Следует указать, что среднее квадратичное отклонение фона, определенное по логарифмической шкале, является отвлеченным числом — множителем, а не слагаемым, как это было в первом примере. У нас, например, $\sigma = 1{,}23$ и поэтому аномалия *гф* $\cdot\ \sigma^3 = 14 \cdot 10^{-4} \times$ $\times\ 1{,}23^3 = 26 \cdot 10^{-4}$%.

Пример 3. Рассматриваются 279 спектральных анализов проб на молибден, отобранных в коренных породах одного из урановых месторождений. Благодаря малой чувствительности определения молибдена спектральным анализом, отчетливые данные получены только для аномальных значений. Наибольшее число анализов находится в классе «Не обнаружено» (Н. о.). Также неясно положение на оси абсцисс точки «Следы» (см. рис. 32). Кривая накопления уверенно строится только с класса $2 \cdot 10^{-4}$%. Если принять, что до содержания $3 \cdot 10^{-4}$% фоновые накопления равны 100% и пересчитать накопление фона в младших классах, то можно по двум точкам провести прямую накопления фона, приблизительно считая, что класс «Следы» имеет верхней границей содержание $1{,}5 \cdot 10^{-4}$%. Продолжением линии накопления и ее пересечением с 50% находим *гф* $= 1{,}5 \cdot 10^{-4}$%. Итак, *гф* $+ 3\sigma =$ $= 3{,}0 \cdot 10^{-4}$%. Поэтому уверенные аномалии начинаются с $3 \cdot 10^{-4}$%, а интервал $(2—3) \cdot 10^{-4}$% относится к минимальным аномалиям.

Классы малых значений можно определить по полной кривой накопления (см. рис. 32). Продолжим ее прямолинейно вниз влево, в сторону малых

значений. На этой кривой есть накопление 56% — для значений, относящихся к правой границе класса $1{,}5 \cdot 10^{-4}$%, и 30%, относящихся к правой границе класса $1 \cdot 10^{-4}$, примерно к точке $1{,}2 \cdot 10^{-4}$%. Приблизительно так же получим границу следующего, меньшего класса — $0{,}7 \cdot 10^{-4}$%. По ординате читаем соответствующее накопление — 9%, значит, в классе $0{,}7 \times \times 10^{-4} - 1{,}2 \cdot 10^{-4}$ находится 30% — 9% = 21% наблюдений. Эту величину и строим как ординату на вариационной кривой для центра класса $(0{,}7—1{,}2) \times 10^{-4}$% примерно в точке $1 \cdot 10^{-4}$% Mo.

Применение кривых накопления позволяет уверенно находить при любой форме вариационных кривых величину геохимического фона и, как было показано на примерах, величину стандарта (σ) для фоновых содержаний. При использовании данных полуколичественного спектрального анализа величина стандартного отклонения фона практически целиком зависит от ошибок, вносимых самим анализом. Так как эта ошибка в широком диапазоне содержаний (различных значений фона) сравнительно постоянна и достигает двух-трехкратных значений определяемой величины, целесообразно за достоверную аномалию принимать величину, превышающую фон в два-три раза. Для хорошо коррелирующихся аномалий эта величина снижается.

Правомочность выделения аномалии необходимо проверять по величине стандартного отклонения (σ), с тем чтобы минимальная аномалия была больше $гф + 2\sigma$, а уверенная аномалия — больше $гф + 3\sigma$. Величина геохимического фона и нижний предел аномальных значений определяются отдельно для каждого элемента и по каждому виду проб — из аллювия, элювиально-делювиальных отложений и коренных пород.

Определение оптимальной глубины опробования элювиально-делювиальных отложений

Оптимальную глубину опробования устанавливают на основании опробования бортов канав, вскрывающих выходы рудных тел, или тектонических зон, вмещающих на глубине рудные тела. Для этого по одной из стенок канавы (длиной в 30—50 *м*) из рыхлых отложений отбирают точечные пробы через 2 *м* по горизонтали и через 0,2—0,5 *м* по вертикали, от поверхности до коренных пород. Расстояние между точечными пробами по вертикали определяется мощностью рыхлых отложений и составляющих их отдельных горизонтов. При этом обязательному опробованию подлежат все горизонты рыхлых отложений — элювий, делювий, подпочвенный слой и почвы, а также коренные породы по дну канавы. Пробы рыхлых отложений ситованием делят на фракции классов менее 0,25 *мм* и 0,25 — 1,0 *мм*. Каждую фракцию обрабатывают и анализируют отдельно. Распределение элементов изображают в виде изоконцентраций отдельно для мелкой и крупной фракций.

На рис. 36 показаны результаты опробования части стенки канавы в изоконцентрациях молибдена фракций с крупностью зерен менее 0,25 *мм* и 0,25 — 1,0 *мм*. Аналогичным распределением по фракциям рыхлых отложений в разрезе характеризуются уран и свинец. В данном случае для выявления ореолов рассеяния более представительной является фракция 0,25—1,0 *мм*. Этот пример характеризует площадь в полупустынном районе, где маломощные делювиальные отложения перекрыты суглинками эолового происхождения, представленными в основном мелким материалом (80% веса составляют частицы размером меньше 0,1 *мм*), резко разубоживающим ореолы рассеяния, развитые в делювии. Поэтому удаление отсеиванием мелкой фракции приводит к увеличению контрастности ореола рассеяния (см. рис. 36 и прилож. 6, лист 11). Представительным горизонтом опробования является верхняя часть делювиальных отложений. Глубина отбора определяется для данного района мощностью перекрывающих суглинков.

В общем случае при опробовании делювиальных отложений, как установлено многолетними работами в ряде различных районов, фракция менее 1 *мм*

достаточно представительна (прилож. 6 лист 13). Для районов с гумидным климатом при замедленной денудации определение глубины представительного горизонта является очень важной задачей опытных работ, так как можно считать твердо установленным, что уран, радий и молибден во многих слу-

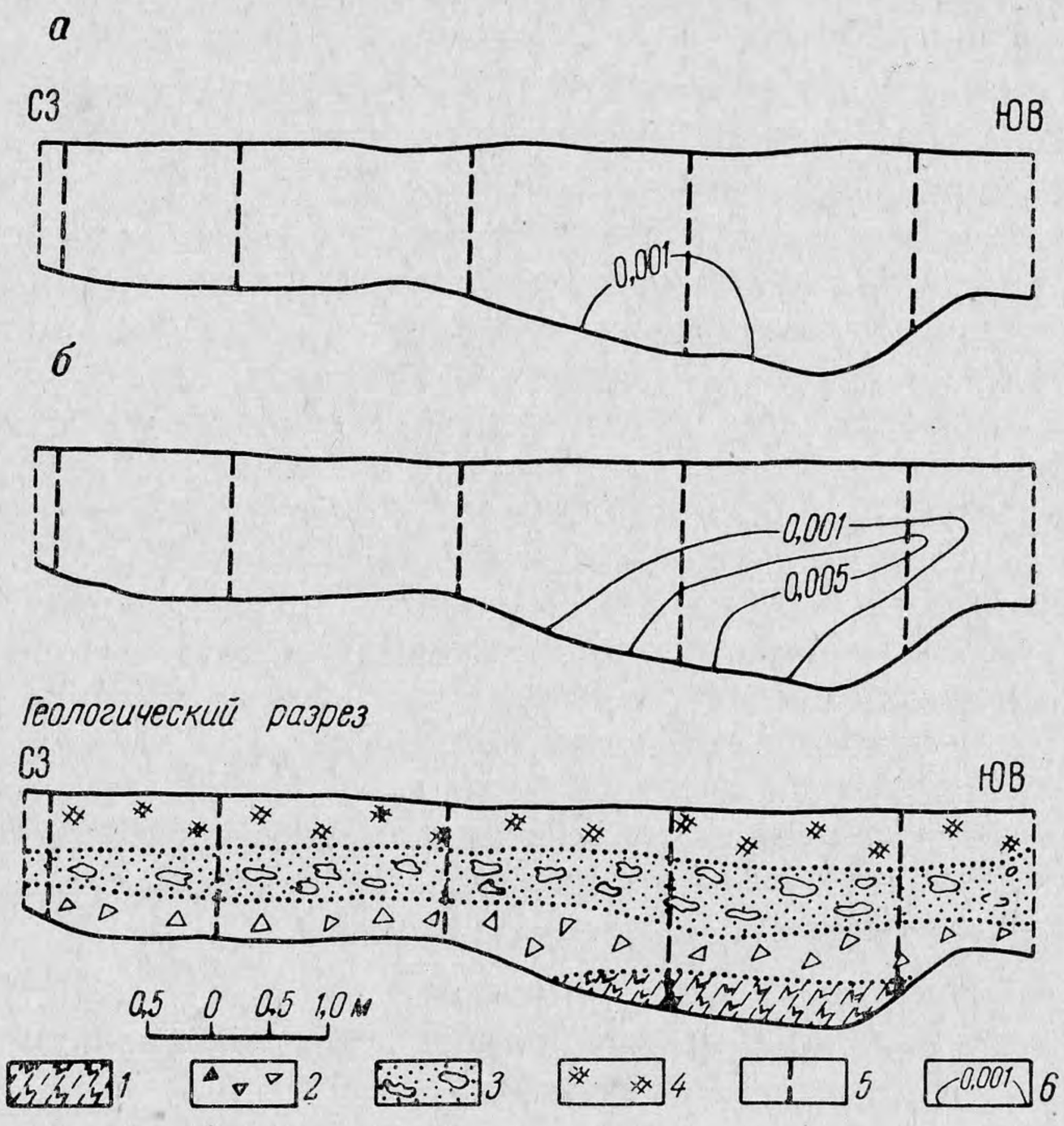


Рис. 36. Месторождение VI. Распределение молибдена по борту канавы 132 (по Е. А. Майоровой)

а — распределение молибдена во фракции менее 0,25 *мм*; *б* — распределение молибдена во фракции 0,25—1,0 *мм*

1 — измененные фельзит-порфиры; *2* — элювий; *3* — делювий—смесь грубообломочного и песчано-глинистого материала; *4* — лёссовидные суглинки; *5* — место отбора проб; *6* — изолинии содержания молибдена

чаях выщелочены из приповерхностного горизонта делювиальных отложений на глубину 0,5—1 *м*, а иногда и более. Определение этой глубины в конкретных геологических и ландшафтных условиях имеет существенное значение, так как определяет выбор правильной методики опоискования (копуши или шпуровая съемка).

Изучение потоков рассеяния

Опробование аллювиальных отложений проводят на участках, типичных для района урановых месторождений или рудопроявлений, с целью выявления интенсивности и протяженности потоков рассеяния и выбора наиболее представительной фракции аллювия, элементный состав которой соответствует составу ореолов, развитых в коренных породах и элювиально-делювиальных отложениях. Выяснение характера распределения элементов по фракциям особенно важно в условиях предгорий аридной зоны, где возможно разубоживание глинисто-алевритовой фракции аллювия пылеватыми частицами эолового происхождения.

Опробование проводят по методике, описанной ниже (см. «Опробование аллювиальных отложений»), в логах и водотоках, дренирующих месторождение и прилегающую к нему территорию площадью 5—10 *км*^{2}. Эти работы необходимы для определения геохимических фонов и нижних пределов аномальных содержаний элементов в аллювии. При опытных работах пробы

аллювия отбирают через 50—100 *м*. Результаты анализа проб изображают в виде карт распределения урана и сопутствующих ему элементов (см. рис. 25, 26).

Сопоставлением элементного состава потоков и ореолов рассеяния выбирают фракцию аллювия, характеризующуюся более высокими содержаниями урана и основных элементов, сопутствующих ему в ореолах рассеяния. Данные о протяженности потоков рассеяния служат основанием для выбора сети опробования при проведении поисковых работ.

При интерпретации результатов следует учитывать возможность загрязнения аллювия отвалами горных выработок и отходами фабрик.

Опытные работы на экзогенных проявлениях урана

Опытное опробование на экзогенных, испарительных и инфильтрационных урановых проявлениях проводят с целью выяснения их отличия от ореолов рассеяния, связанных с рудными телами гидротермальных месторождений района. Работы на таких участках можно ограничить отбором 20—30 проб из элювиально-делювиальных отложений по двум-трем профилям, пересекающим аномалию. По данным анализов проб выясняют, какие из элементов, сопутствующих урану в ореолах рассеяния гидротермальных рудных тел, не сопровождают уран в приповерхностных скоплениях и, следовательно, могут служить одним из признаков для установления генетической природы аномалии.

2. ОПРОБОВАНИЕ КОРЕННЫХ ПОРОД

Геохимическое опробование коренных пород включает собственно отбор проб, детальные структурные и минералого-петрографические наблюдения, а также измерения гамма- активности пород на исследуемых участках. Целью такого опробования является установление закономерностей распределения урана и сопутствующих ему элементов в коренных породах и связи выявленных ореолов с геологической структурой участка: тектоническими нарушениями, определенными горизонтами рудовмещающих толщ, зонами гидротермально измененных пород и др.

Геохимическое опробование коренных пород применяется на этапе детального исследования перспективных участков при решении следующих задач:

а) оценке перспективности отдельных участков, на которых выявлены ореолы рассеяния урана и элементов-спутников в элювиально-делювиальных отложениях;

б) определении перспектив рудоносных зон на глубину в пределах площадей известных урановых рудопроявлений, а также оценке перспективности этих рудопроявлений с точки зрения возможности обнаружения скрытых рудных тел;

в) выявлении геохимических признаков на эксплуатируемых месторождениях и разведуемых рудопроявлениях, необходимых для оценки перспектив рудоносности глубоких горизонтов и флангов этих месторождений и рудопроявлений.

В зависимости от условий проведения работ и поставленных задач объектами опробования могут являться: обнажения коренных пород, поверхностные выработки — канавы, шурфы, расчистки и глубокие врезы, подземные горные выработки — штольни, квершлаги и рассечки, а также керны буровых скважин, пробуренных как с поверхности, так и из подземных горных выработок.

Опробование коренных пород с поверхности проводится на участках с высокой степенью обнаженности по отдельным профилям, пересекающим вкрест простирания тектонические нарушения и зоны трещиноватости, сопровождающиеся гидротермально измененными породами и ореолами рассеяния.

Проведение геохимического опробования коренных пород в поисковых целях нецелесообразно даже в горных районах с хорошей обнаженностью. Зачастую наиболее интересующие исследователя зоны тектонических нарушений и повышенной трещиноватости выражены в рельефе понижениями, седловинами и обычно прикрыты аллювиально-делювиальными образованиями. Опробование коренных пород по обнажениям в этом случае может не выявить ореолы и создать ложное представление о геохимической характеристике участка. В то же время в элювиально-делювиальных образованиях над рудоносными зонами развиваются четкие вторичные ореолы рассеяния (прилож. 6, листы 5, 7).

Следует иметь в виду, что отбор и последующая обработка большого количества проб коренных пород всегда связаны с затратой значительных средств и времени. Поэтому опробование коренных пород с поверхности проводится только на локальных площадях для решения конкретных геологических задач. Ореолы рассеяния, выявленные в элювиально-делювиальных отложениях, вскрываются канавами с учетом возможного смещения рыхлого материала вниз по склону от источника оруденения. Опробование коренных пород в этом случае производится по дну канав.

Методика отбора и обработки проб при геохимическом опробовании должна соответствовать применяемым полуколичественным методам спектрального и люминесцентного анализов и предусматривать получение объективных данных о положении и размерах первичных ореолов с минимальными затратами времени на производство работ. В связи с этим применение бороздового и задиркового опробования для изучения ореолов в коренных породах является неоправданным из-за относительно низкой точности используемых аналитических методов и больших затрат времени и труда. Это не исключает возможности использования в некоторых случаях данных анализов или производства анализов отобранных при разведке месторождения бороздовых проб для установления количественных соотношений между содержаниями урана и сопутствующих ему элементов в рудах.

Различными исследователями (Гинзбург, 1957; Муканов, 1959; Россман, 1960 и др.) для изучения первичных ореолов на месторождениях цветных и редких металлов применялось точечное опробование коренных пород: равномерное и неравномерное точечное, по способу квадрата и т. п. Для выяснения распределения элементов в коренных породах вокруг урановых рудных тел эти способы отбора не могут быть рекомендованы, так как при этом остаются неохарактеризованными значительные интервалы профилей и выработок.

Как показали исследования на гидротермальных урановых месторождениях, наиболее высокие концентрации рудных элементов наблюдаются в материале тектонических трещин и породах вблизи этих трещин. Мощность таких участков с максимальной концентрацией элементов колеблется от 0,5 *м* (для урана) до 2 *м* (для других элементов), поэтому для правильного суждения о распределении элементов в коренных породах пробы необходимо отбирать через 0,5 *м*. Однако это привело бы к резкому увеличению количества проб и, следовательно, удорожанию работ.

Опытно-производственными работами в ряде районов установлено, что наиболее рациональным является точечный отбор проб по линии с интервала 3—5 *м* (пунктирная борозда). Все точечные пробы (штуфы) с интервала объединяют в одну пробу. Точки отбора штуфов весом 20—30 *г* располагаются в пределах интервала опробования примерно через 0,5 *м*. Каждая проба общим весом 200—300 *г* составляется из 6—10 мелких штуфов породы, отобранных равномерно на интервале 3—5 *м*. При этом в пробу поступают как массивные, неизмененные породы, так и материал из мелких трещин, гидротермально переработанных пород и т. д. При смене пород граница пунктирной борозды должна проходить по линии геологического контакта. Пробы отбираются последовательно одна за другой, без перерыва между ними.

Следует учитывать, что для уверенного выделения любой геохимической аномалии необходимы по меньшей мере две точки на графике содержаний металла по профилю; при этом должно обеспечиваться выявление наиболее узких ореолов и участков различной концентрации элементов в них. Для выбора оптимальной длины пунктирной борозды на вновь изучаемых месторождениях целесообразно на этапе опытно-методических работ проводить опробование квершлажных выработок (в наиболее представительном пересечении рудного тела) с длиной проб 1—2 *м*. В дальнейшем, объединяя содержания по двум, трем и более пробам, устанавливают необходимые и достаточные размеры пунктирной борозды.

Пример определения длины пунктирной борозды для одного из урановых месторождений с прожилково-вкрапленным типом руд, локализованных в крутопадающих зонах дробления, показан на рис. 37. В опробованном двухметровыми пунктирными бороздами квершлаге ореолы урана, свинца и молибдена выявлены только на интервале от 40 до 110 *м*. Из графиков распределения элементов, построенных по объединенным двум, трем, четырем и пяти соседним пробам, видно, что по мере увеличения интервала объединения (соответственно, длины пробы) кривая распределения теряет изрезанную, «пилообразную» форму и превращается в более простую и наглядную, удобную для интерпретации. Оптимальной длиной борозды в рассмотренном примере можно считать 6 *м*, так как при дальнейшем увеличении интервала опробования выразительность графика ухудшается.

Опробование керна буровых скважин производится также непрерывной пунктирной бороздой с интервалом в среднем 3—5 *м*. При этом интервалы опробования удобно совмещать с маркированными границами отдельных рейсов бурового инструмента или сменных уходок. Часто наиболее важные в геологическом отношении участки разреза — зоны дробления и повышенной трещиноватости — остаются неохарактеризованными вследствие плохого выхода керна в этих интервалах. При опробовании бурящихся скважин во избежание пропусков этих наиболее интересных интервалов следует собирать и опробовать шлам. С этой целью обычно используют простейшие шламоулавливатели, а для упрощения операций по сбору шлама — шламоприемные стаканы по образцу тех, что употребляются при разведке и опробовании медноколчеданных месторождений.

Шламоприемные стаканы представляют собой стальные цилиндры высотой 100 и диаметром 20 *мм*, изготавливаемые из подсобных материалов — обрезков труб и т. п. Нижняя глухая крышка цилиндра навинчивается, верхняя имеет частые отверстия диаметром не более 1—1,5 *мм* (во избежание загрязнения шлама буровой дробью или сечкой). Цилиндр разрезают вдоль оси для разъема при выемке собранного шлама. Стакан устанавливают под сливом выходящего бурового раствора из обсадной трубы так, чтобы за сменную уходку он набирался не полностью. Проба шлама, собранная таким образом, будет характеризовать весь интервал бурения за смену.

Использование шлама для изучения ореолов дает возможность получить непрерывный геохимический разрез по оси скважины, что составляет неоспоримое преимущество этого приема опробования. Вместе с тем при опробовании только шлама имеются и свои недостатки: отсутствие точной привязки пробы к положению забоя скважины, разубоживание шлама глинистым раствором, применяемым при проходке неустойчивых зон, а также трудность сбора шлама при потерях бурового раствора.

Наряду с массовым опробованием коренных пород пунктирной бороздой для решения некоторых специальных вопросов отбирают отдельные пробы из материала тектонических трещин, данные анализа которых учитывают при интерпретации ореолов. Пробы берут по длине трещины пунктирной задиркой. Вес пробы при этом составляет обычно 150—200 *г*.

Геохимическое опробование коренных пород в выработках должно сопровождаться тщательной геологической документацией в масштабе 1 : 100 или 1 : 200 и гамма-измерениями по линии отбора проб. При опробовании

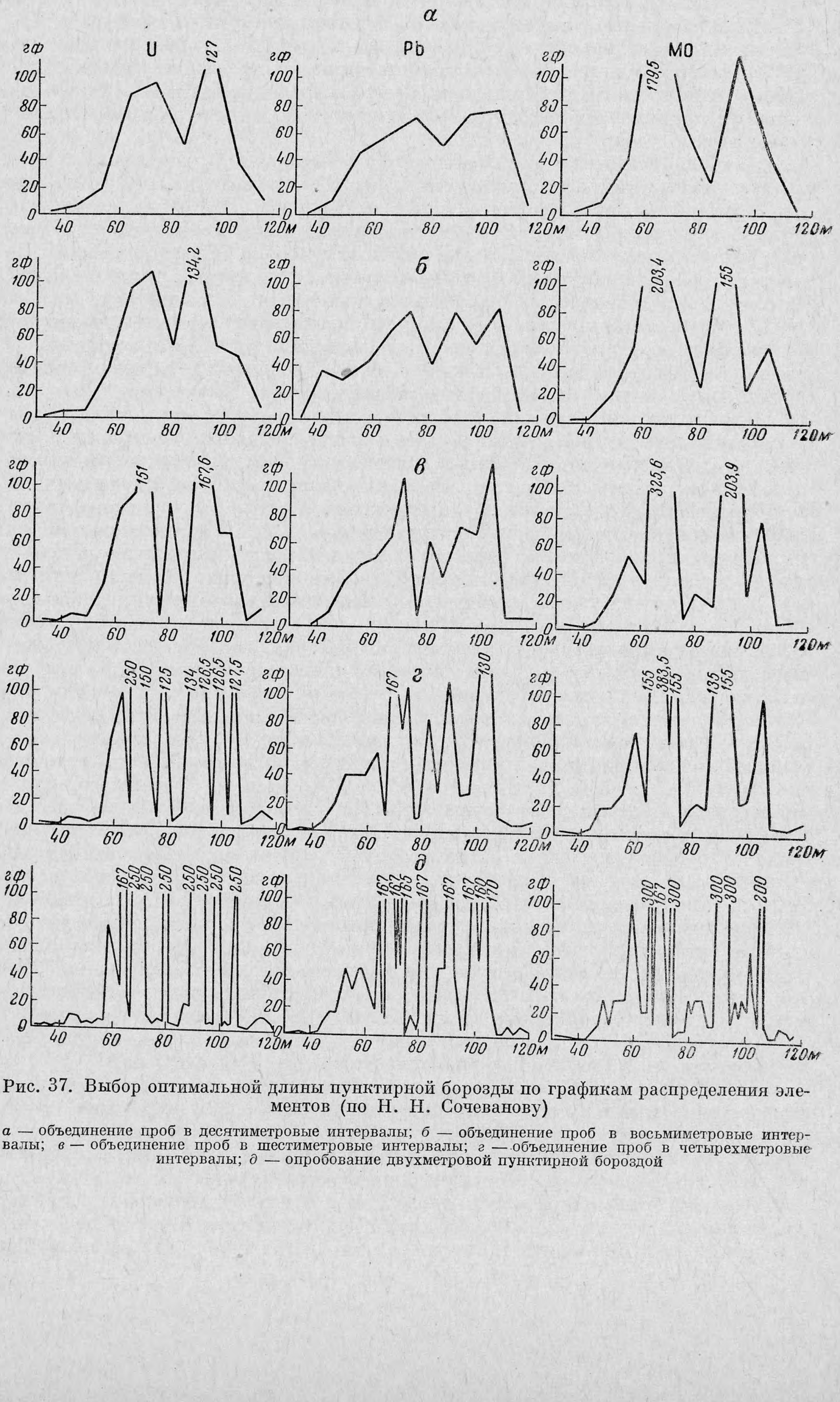


Рис. 37. Выбор оптимальной длины пунктирной борозды по графикам распределения элементов (по Н. Н. Сочеванову)

а — объединение проб в десятиметровые интервалы; *б* — объединение проб в восьмиметровые интервалы; *в* — объединение проб в шестиметровые интервалы; *г* — объединение проб в четырехметровые интервалы; *д* — опробование двухметровой пунктирной бороздой

старых выработок, где проведение геологических наблюдений и радиометрических измерений невозможно, используют имеющуюся геолого-геофизическую документацию. Измерения гамма-активности по линии отбора проб производят с целью выделения зон трещиноватости и измененных пород с повышенной гамма-активностью для их детального изучения и опробования.

Геологическая документация должна предусматривать выделение и оконтуривание всех встреченных зон дробления и трещиноватости с указанием их минерального выполнения, участков гидротермального изменения пород, характера и интенсивности изменений, зон вкрапленников минералов и их ориентировочной количественной оценки в породах.

Опробование коренных пород и структурно-минералогические наблюдения выполняются инженером-геологом, коллектором и одним рабочим. При интервале опробования 3—5 *м* коллектор и рабочий могут отобрать за смену 40—50 проб. За это же время геолог проводит детальные геологические наблюдения на участке профиля длиной 150—200 *м*. На геологическую документацию наносят точки отбора проб с указанием их номеров и фактического положения на стенках опробованных выработок.

Обработка проб коренных пород заключается в их дроблении на щековой дробилке и валках, последующем сокращении и истирании. Дробление и истирание таких проб, обычно имеющих низкое содержание урана, совершенно недопустимо в рудничных дробилках, занятых дроблением рудных проб, даже при их тщательной очистке. От каждой раздробленной пробы оставляют дубликат весом 120—150 *г* для возможных контрольных анализов, группирования проб и других целей. Навеска пробы в 20—40 *г* истирается до состояния пудры (160—200 *меш*) на специальных растирочных станках — вибрационные столы типа 75б-ДР, станки конструкции Казахского геофизического треста и др. При необходимости истирать вручную навеска может быть уменьшена до 5—10 *г*.

Навески растертых и подготовленных проб поступают на люминесцентный и спектральный анализы для определения содержания урана и сопутствующих ему элементов. По результатам анализов проб строят графики распределения урана и сопутствующих ему элементов по опробованным профилям на поверхности и горным выработкам. На графиках по горизонтальной оси откладывают расстояние по профилю (выработке, скважине), а по вертикальной — содержание каждого из элементов в линейном масштабе. Под горизонтальной осью приводят документацию стенки выработки или скважины. Горизонтальный масштаб графиков и документации может меняться от 1 : 100 до 1 : 1000 в зависимости от длины опробуемых выработок, а также от степени сложности геологического строения участка и детальности исследований.

Вертикальный масштаб выбирают так, чтобы геохимический фон элементов не превышал на графиках 2—5 *мм*. Применение логарифмического вертикального масштаба содержаний нерационально, так как лишает графики необходимой наглядности, приводит к резкому разбросу точек, лежащих в области низких, околофоновых значений, и «сжиманию» максимумов с большими аномальными содержаниями, которые, собственно, и должны привлекать внимание. Это видно из рис. 38, где приведена одна и та же кривая содержания свинца, изображенная в логарифмическом и линейном масштабах.

По данным опробования коренных пород на поверхности, в горных выработках и по керну скважин на геологической основе составляют планы и разрезы ореолов в изоконцентрациях, на которых наглядно изображаются закономерности распределения урана и сопутствующих ему элементов.

Методика обработки данных изучения зон трещиноватости, дробления и других элементов структуры имеет свои особенности. Для объективной количественной характеристики степени трещиноватости пород и связи ее с распределением элементов в ореоле следует учитывать суммарную мощность зон дробления и отдельных трещин на опробуемом интервале выработок. Величина отношения суммарной мощности трещиноватых и дробленых пород

к общей длине интервала опробования выражается в процентах и носит название коэффициента трещиноватости.

Графическая обработка результатов опробования материала трещин, жил, зон повышенной трещиноватости и дробления заключается в построении диаграмм содержаний элементов по трещинам различной ориентировки или различного жильного выполнения. Пример построения таких диаграмм для одного из месторождений с карбонатно-смолковым оруденением прожилково-вкрапленного типа представлен на рис. 39.

Из диаграммы видно, что максимальные содержания урана и сопутствующих ему элементов — меди, молибдена и свинца — приурочены к трещинам северо-западного простирания. Вместе с тем отмечаются аномальные концентрации свинца, молибдена и меди в трещинах близширотного простирания, где уран содержится в фоновых количествах. Такое распределение указанных элементов связано с проявлением двух стадий минерализации: ранней сульфидной и последующей настурановой, что подтверждается и геологическими наблюдениями.

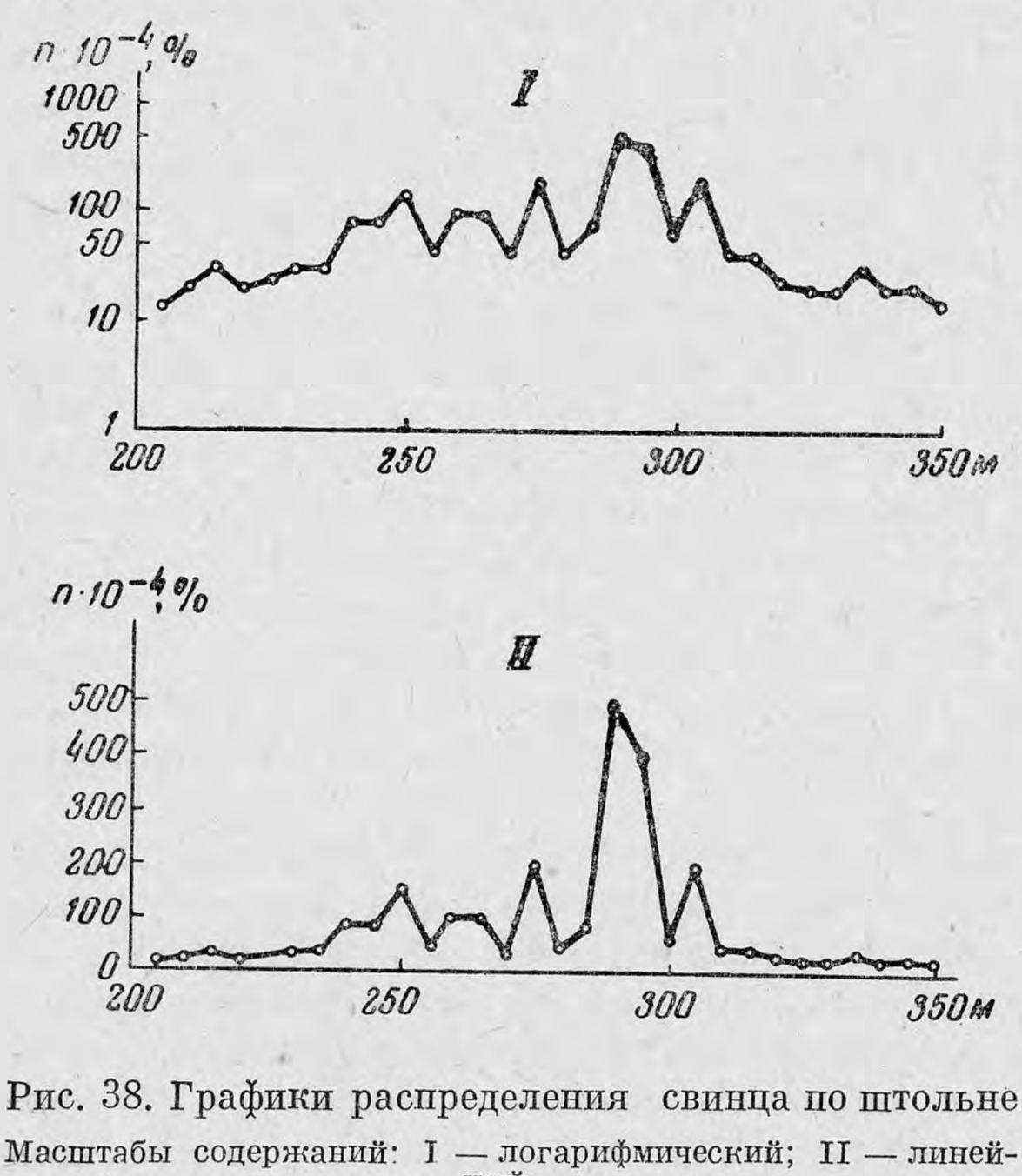


Рис. 38. Графики распределения свинца по штольне
Масштабы содержаний: I — логарифмический; II — линейный

Наряду с данными диаграммами употребляют также круговые диаграммы, где изолиниями концентраций подчеркивается преобладание трещин с определенным элементным составом жильного выполнения (рис. 40). На приведенной круговой диаграмме для урана отчетливо видны два максимума, соответствующие положению большинства трещин близмеридионального простирания, с крутым падением (70—90°) к востоку и западу, несущих наивысшие концентрации урана и меди. Медная (безурановая) минерализация другого возраста проявлена, кроме того, в мелких кварцевых прожилках северо-восточного простирания и юго-восточного падения с углами 40—70°.

Детальные структурные и минералогические наблюдения, выполняемые в процессе геохимического опробования коренных пород, являются одним из важных этапов исследований и требуют достаточно высокой квалификации специалиста, проводящего эти работы. Задачи и методы структурных и минералогических исследований рассматриваются в ряде известных руководств по поискам и разведке, в отдельных статьях и сводках монографического характера (Сонюшкин, Лукин, 1956; Мелков, Пухальский, 1957; Суражский, 1960; Вольфсон и др., 1961; Котляр, 1961 и т. д.). Целью таких детальных исследований является выявление и прослеживание на изучаемом участке рудовмещающих структур, благоприятных горизонтов в разрезе вмещающих толщ, зон околорудных изменений и минералов-индикаторов скрытого уранового оруденения, что весьма важно для оценки выявляемых ореолов, особенно при поисках скрытых рудных тел.

Проведение детальных геологических наблюдений необходимо на участках, где имеются основания предполагать проявление нескольких стадий рудообразования с существенной долей неурановых стадий. Например, при развитии полиметаллического оруденения с наложенной на него непромыш-

ленной урановой минерализацией по ореолам элементов невозможно однозначно оценить перспективность изученного участка. Детальные структурные и минералогические исследования оказывают существенную помощь в расшифровке и оценке геохимических аномалий.

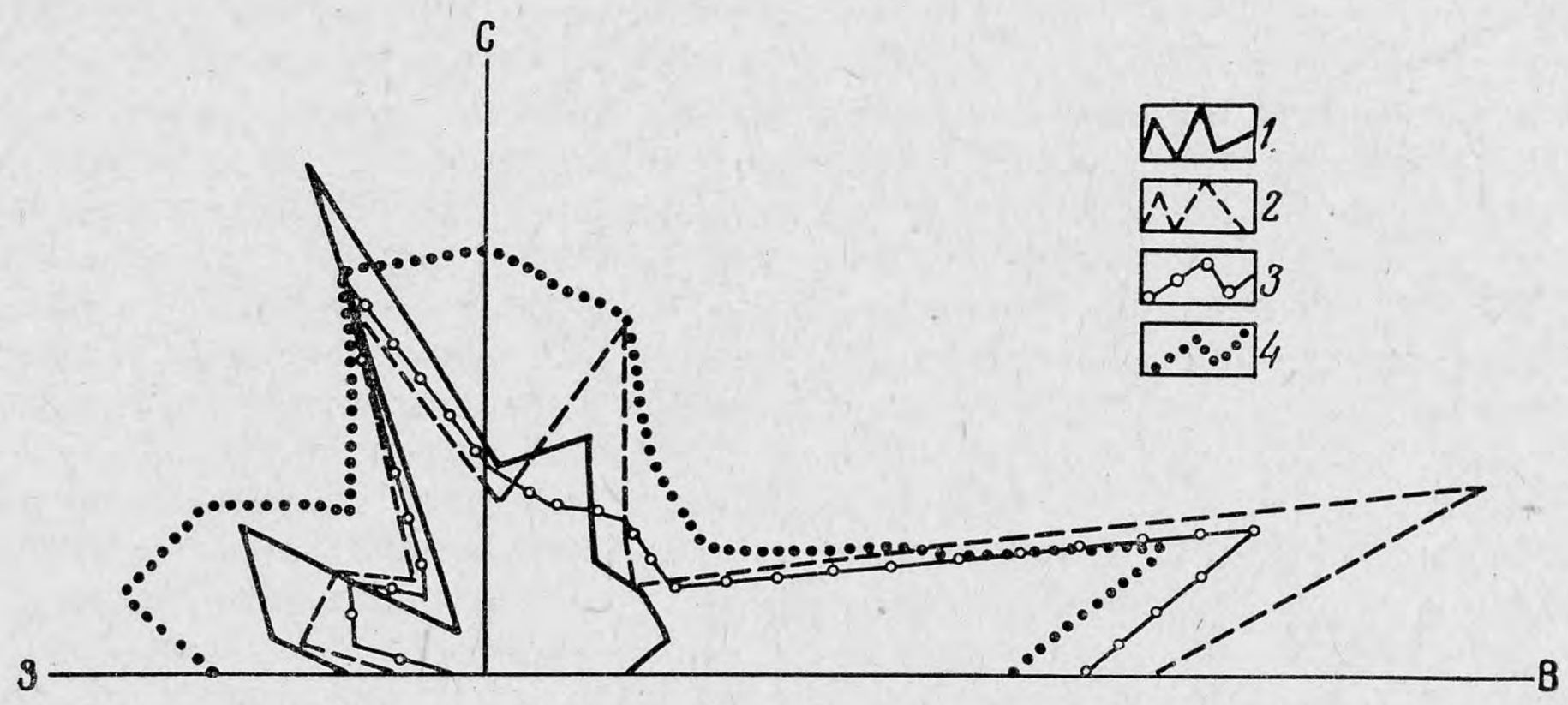


Рис. 39. Распределение урана, свинца, меди и молибдена в трещинах различного простирания (93 замера. По материалам Н. А. Ворошилова и Л. Т. Мишина)

Графики распределения: *1* — урана; *2* — свинца; *3* — меди; *4* — молибдена

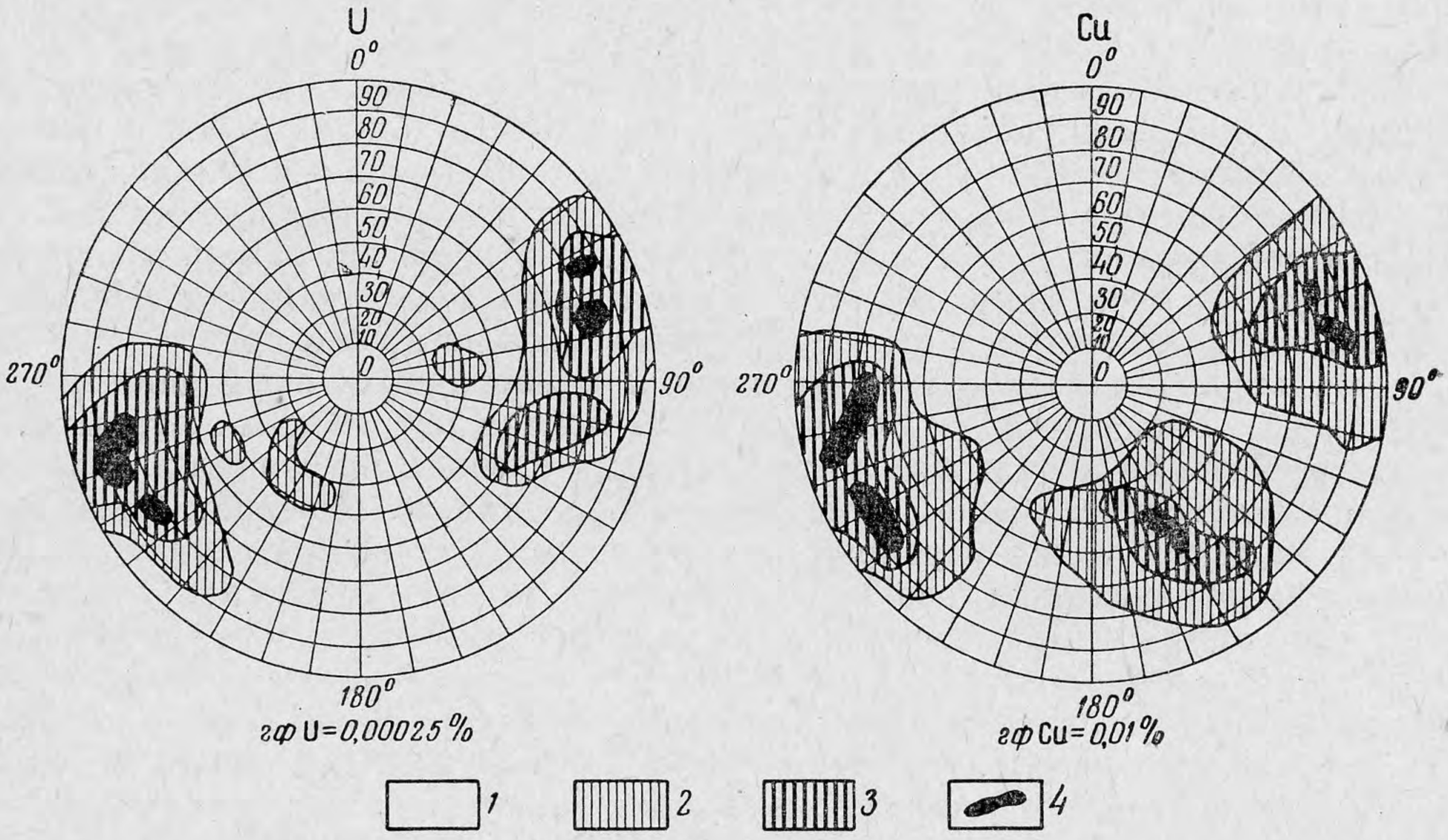


Рис. 40. Месторождение VIII. Круговая диаграмма изолиний содержаний урана и меди по трещинам в зависимости от их углов и азимутов падений (122 замера. По материалам Л. Т. Мишина и Н. А. Ворошилова)

Содержание элементов: *1* — урана менее 0,0010 % (менее 4 *гф*); меди менее 0,03 % (менее 3 *гф*); *2* — урана 0,0010—0,0025 % (4—10 *гф*), меди 0,03—0,1 % (3—10 *гф*); *3* — урана 0,0025—0,0050 % (10—20 *гф*), меди 0,1—0,3 % (10—30 *гф*); *4* — урана более 0,0050 % (более 20 *гф*), меди более 0,3 % (более 30 *гф*)

3. ОПРОБОВАНИЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

В районах с широко развитой площадной корой выветривания, закрытой позднейшими рыхлыми отложениями, поиски месторождений урана проводят с помощью исследования погребенных вторичных ореолов рассеяния урана и радия в коре выветривания. Для одного из районов в разрезе последней выделяются горизонты (сверху вниз): белых каолинов, пестроцветных глин и глинисто-щебенистый.

Изучение ореолов рассеяния в этом районе показало, что из верхнего горизонта коры выветривания (белых каолинов) вынесены наиболее подвижные рудные компоненты, в том числе уран и радий. Отчетливые ореолы рассеяния над урановыми телами фиксируются в пределах горизонта пестроцветных глин, который и является представительным горизонтом для опоискования. Глубина залегания этого горизонта колеблется в зависимости от позднейшего размыва и мощности перекрывающих рыхлых отложений третичного и четвертичного возрастов. В связи с этим поиски в данном районе могут осуществляться только с помощью технических средств, обеспечивающих уверенное достижение глубины представительного горизонта опоискования.

Выбор технических средств для проникновения в кору выветривания определяется мощностью перекрывающих ее рыхлых отложений. В степных районах на площадях, закрытых рыхлыми отложениями мощностью от 0,5 до 2,0 *м*, поиски ведут шпуровой гамма-съемкой при помощи виброустановок УВБ-3, а также специальных гидрозадавливателей. Площади, закрытые рыхлыми отложениями мощностью от 2 до 8 *м*, опоисковывают с помощью виброагрегатов СВА-2, К-32 или СУГП-10 (без наращивания штанг). На участках, где мощность покрова рыхлых отложений колеблется от 8 до 25 *м*, глубинные поиски месторождений проводят с применением агрегатов СУГП-10 (с наращиванием штанг).

В процессе задавливания снаряда производится непрерывная автоматическая запись гамма-активности пород в скважине на ленте самописца специального радиометра КУ-59. Подробное техническое описание и рекомендации по применению этой аппаратуры изложены в специальном руководстве (Карабанов, Ветров, Васильев, 1960).

Металлометрические пробы отбирают с максимальной глубины проникновения снаряда (забой скважины) при помощи специальных пробоотборников в наконечнике снаряда. Если в процессе каротажа скважины устанавливают повышение гамма-активности в разрезе перекрывающих рыхлых отложений, то для отбора проб с этой глубины проходят вторую скважину. Учитывая трудоемкость этих операций и несовершенство конструкции пробоотборников, систематическое взятие проб из скважин не производят.

На площадях, закрытых третичными и четвертичными отложениями значительной мощности — до 100 *м* и более, поиски погребенных рудных тел и месторождений производят по погребенным ореолам рассеяния в коре выветривания с применением поисково-картировочного бурения. Скважины бурят на всю глубину перекрывающих рыхлых отложений с углублением в кору выветривания от 5 до 20 *м*, в зависимости от ее мощности. В скважинах, где установлены интервалы повышенной гамма-активности, производят металлометрическое опробование керна, начиная от кровли коры выветривания до забоя скважины. Пробы отбирают пунктирной бороздой с каждого 3—5-метрового интервала керна весом 0,2—0,3 *кг*, после соответствующей обработки подвергают анализу на элементы-спутники и в отдельных случаях — на уран. Количество отбираемых проб определяется мощностью коры выветривания и степенью детальности ее исследования, вытекающей из характера данных гамма-каротажа. Обычно отбирают от трех до пяти проб из каждой скважины.

На рис. 41 приведен разрез по линии пробуренных скважин с результатами гамма-каротажа и опробования керна. Скважинами вскрыты ореолы рассеяния урана и радия над рудной зоной в верхней части коры выветривания, закрытой покровом рыхлых отложений третичного и четвертичного возрастов мощностью до 100—123 *м*.

Как видно из рис. 41, ореолы рассеяния выявлены только в пределах коры выветривания. Первые 3—5 *м* характеризуются пониженными гамма-активностью и содержанием урана, что связано с местными процессами выщелачивания урана и радия напорными водами вышележащего горизонта третичных песков. Шлейф рассеяния урана, приуроченный к верхнему горизонту коры выветривания, отмечается в юго-восточной части разреза. Опыт работ

показыват, что в этих условиях при мощности рудного тела до 1—2 *м* ширина ореолов рассеяния в кровле коры выветривания достигает 20 *м* и более, рудные тела большей мощности (2—10 *м*) характеризуются ореолами шириной

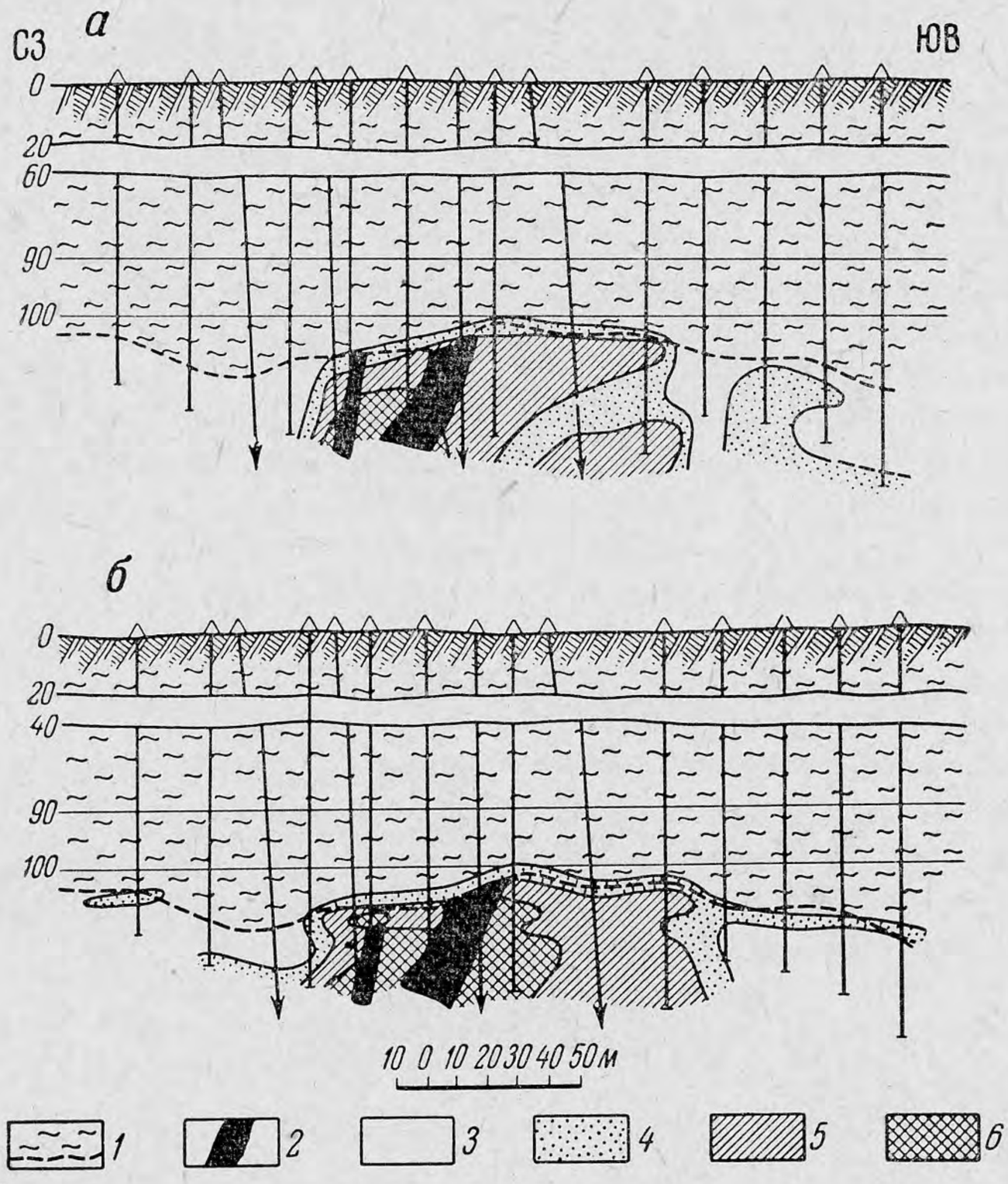


Рис. 41. Опытный профиль мелких скважин (по Н. Н. Сочеванову и Е. А. Майоровой)
а — вертикальный разрез в изогаммах по данным каротажа; *б* — вертикальный разрез изолиний содержаний урана

1 — верхняя часть — рыхлые четвертичные и третичные отложения, пунктир — кровля коры выветривания железистых роговиков; *2* — рудный выход с промышленным содержанием урана. Гамма-активность *мкр/час*: *3* — менее 25; *4* — от 25 до 100; *5* — от 100 до 500; *6* — свыше 500. Содержание урана, $n \cdot 10^{-4}$ %: *3* — менее 10; *4* — от 20 до 50; *5* — от 50 до 100; *6* — более 100

до 60—100 *м*. Эти данные несколько изменяются в разных районах и должны учитываться при выборе расстояний между скважинами по поисковым профилям.

4. ОПРОБОВАНИЕ ЭЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Опробование элювиально-делювиальных отложений проводят с целью выявления и оконтуривания вторичных ореолов рассеяния над урановыми рудными телами или их первичными ореолами, вскрытыми эрозией. Результаты опробования позволяют:

а) выделять наиболее перспективные участки для обнаружения эродированных и скрытых урановых рудных тел в пределах известных рудных полей и площадей, где по геологическим данным возможность проявления уранового оруденения наиболее вероятна;

б) оценивать радиометрические и геофизические аномалии по наличию благоприятных вторичных ореолов рассеяния урана и элементов-спутников, характерных для данного района.

Возможность выявления вторичных ореолов рассеяния с поверхности зависит, при прочих равных условиях, от мощности и характера рыхлых отложений. Практика геохимических работ показывает, что открытые ореолы рассеяния урана и сопутствующих ему элементов могут быть обнаружены

с поверхности в элювиально-делювиальных отложениях или коре выветривания мощностью до 10 *м* и более, при значительной величине продуктивности ореолов в коренных породах. Для ореолов, развивающихся над скрытыми урановыми рудными телами и имеющих небольшую величину продуктивности, практически установлена возможность выявления вторичного ореола с поверхности при помощи делювиальных отложений до 5 *м*.

Если элювиально-делювиальные отложения перекрыты чехлом чуждых дальнеприносных (эоловые, ледниковые, аллювиальные) отложений различной мощности, для выявления ореолов рассеяния требуется применение технических средств, которые позволяют углубиться под чуждые отложения и производить опробование наиболее представительного горизонта, в котором ореолы характеризуются наибольшими размерами и максимальными содержаниями элементов.

Геохимические поиски урановых рудных тел с использованием элементов-спутников мало отличаются от металлометрической съемки при поисках месторождений цветных и редких металлов, изложенной в соответствующей инструкции (Инструкция по металлометрической съемке, 1957), и уранометрической съемки (Квашневская, Комаров, 1960). Поэтому в данном разделе остановимся только на тех вопросах, которые недостаточно освещены в этих инструкциях и, по нашему мнению, заслуживают внимания.

Объективные данные о размерах и составе ореолов рассеяния могут быть получены при условии правильного выбора направления профилей, густоты сети отбора проб, глубины взятия пробы, ее веса и представительности фракции пробы, поступающей на анализ. Все это определяется геологическими особенностями участка, составом, ожидаемыми размерами и формой рудных тел, а также поставленными задачами.

Сеть отбора проб

В случае приуроченности предполагаемого оруденения к линейно вытянутым тектоническим нарушениям и зонам трещиноватости применяется прямоугольная сеть наблюдений, профили которой располагают вкрест простирания рудоносных структур.

При выборе расстояния между профилями учитывают необходимость пересечения ореола рассеяния не менее чем двумя профилями. Так как минимальная протяженность вторичных ореолов рассеяния урана и элементов-спутников, представляющих практический интерес, обычно достигает 100—200 *м*, то расстояние между профилями определяется в 50—100 *м*. При небольших размерах ореолов, обычно образующихся над скрытыми урановыми рудными телами, размеры которых в плане могут быть больше размеров ореолов рассеяния на поверхности, или при необходимости более детального оконтуривания ореолов расстояние между профилями сгущают до 20—25 *м*.

Шаг по профилю принимается не более половины ширины ореола рассеяния для того, чтобы зафиксировать ореол не менее чем двумя пробами. Ширина вторичных ореолов урана и его спутников обычно превышает 20 *м* (см. табл. 10—12), поэтому наиболее рационально отбирать пробы по профилю через 10 *м*. Сгущение точек по профилю до 3—5 *м* не рекомендуется, так как не вносит существенных изменений в результаты опробования.

В табл. 22 приводится густота сети опробования элювиально-делювиальных отложений, применяемая в практике поисков урановых месторождений геохимическими методами.

Сгущение сети допустимо при необходимости увязки результатов опробования между соседними профилями и уточнения положения максимальных содержаний элементов в ореолах. На участках непродуктивных толщ или на перспективных участках, закрытых рыхлыми отложениями большой мощности, допускается разрежение сети опробования.

Опробование элювиально-делювиальных отложений в масштабах 1 : 5000 или 1: 10 000 проводят в пределах известных рудных полей и перспек-

Таблица 22

Густота сети опробования элювиально-делювиальных отложений

Масштаб съемки и отчетных карт	Расстояние между профилями, *м*	Расстояние между точками, *м*	Плотность точек на 1 *см*² карты
1 : 10 000	100	20—25	4—5
1 : 5 000	50	10—20	2,5—5
1 : 2 000	20—25	10	1,6—2,0

тивных площадей. По результатам этих работ производят оценку перспективности отдельных участков и выделяют те из них, на которых целесообразна постановка более детальных геохимических работ для прослеживания и увязки между соседними профилями ореолов рассеяния. Детальные работы выполняют в масштабе 1 : 5000 или 1 : 2000.

Для оценки радиометрических аномалий опробование элювиально-делювиальных отложений проводят по отдельным профилям, расстояние между которыми в зависимости от размеров аномалии меняется от 20 до 100 *м*.

Разбивку сети для металлометрического опробования рыхлых отложений, а также ее привязку производят согласно существующей инструкции по металлометрической съемке. В центральной части площади, выделенной для съемки, разбивают магистраль, ориентируемую параллельно или наиболее близко к направлению преобладающих на участке рудовмещающих тектонических нарушений и трещинных зон. Под прямым углом к магистрали разбивают профили. Магистраль на пересечении с профилями закрепляют колышками и привязывают к опорным топографическим пунктам или нанесенным на карты горным выработкам. Для сохранения расстояния между точками в плане (горизонтальное проложение) и правильного нанесения их на карту при разбивке профилей и магистрали вводят поправки за наклон рельефа.

Углы наклона рельефа, измеряемые эклиметром горного компаса, используют для построения топографических разрезов по линиям профилей, а при отсутствии топографических карт — для составления схематической карты в горизонталях. При этом по магистрали должны быть измерены углы наклона от профиля к профилю для передачи высоты на соседний профиль.

Все данные разбивки сети записывают в полевую книжку (прилож. 2). В примечании отмечают место расположения профиля (точки) по отношению к наиболее характерным ориентирам — канавам, устьям штолен, скважинам и т. д., которые позволяют корректировать наложение профилей на карту и являются пунктами привязки на местности.

Практика проведения геохимических работ показывает, что закрепление сети на местности является обязательным. Закрепленная сеть позволяет быстро ориентироваться в случае необходимости повторного отбора проб, контрольного переопробования, детализации выявленных ореолов рассеяния, их геологического осмотра и проведения работ другими методами по той же сети. Обычно каждую точку или (при шаге 10 *м* по профилю) каждую вторую точку закрепляют деревянным колышком, в верхней части которого простым карандашом делают четкую надпись в виде дроби, числитель которой обозначает номер профиля, а знаменатель — номер точки. Не рекомендуется нумерация профилей и точек римскими цифрами или арабскими с минусом, плюсом или с буквенным индексом, что часто является причиной ошибок. Нумерацию профилей и точек обычно выбирают кратной 10 *м*.

Техника отбора проб

Относительно равномерное распределение элементов в рыхлых отложениях позволяет производить точечный отбор проб.

Оптимальная глубина отбора проб соответствует глубине залегания представительного горизонта, в пределах которого наиболее интенсивно и широко развиты вторичные ореолы рассеяния. Эта глубина различна в разных ландшафтных зонах. Поэтому для каждого частного случая глубину пробоотбора определяют опытным путем.

Когда ореолы рассеяния открытые и развиты на полную мощность делювиальных отложений, опробование рыхлых отложений производят по дну закопушек глубиной 10—15 *см*, вскрывающих подпочвенный слой. Практикой геохимических поисков установлено, что увеличение глубины пробоотбора в этих условиях не вносит дополнительных данных о распределении элементов в ореоле рассеяния, но в то же время уменьшает производительность работы.

Если элювиально-делювиальные образования закрыты чуждыми отложениями небольшой мощности (до 0,5—1,0 *м*), то глубину закопушек увеличивают, и пробы отбирают из верхнего горизонта делювиальных отложений. В последние годы в полупустынных областях успешно применяют плужную гамма-съемку, в результате которой бороздами глубиной 40—80 *см* вскрывают представительный горизонт элювио-делювия. Наличие борозд обеспечивает отбор проб с необходимой глубины и значительно увеличивает производительность работ.

В условиях горно-лугового ландшафта с почвенным слоем мощностью 0,3—0,5 *м*, где имеют место процессы частичного выщелачивания элементов из почв, наиболее представительным горизонтом для опробования является подпочвенный горизонт (верхний горизонт делювия). Поэтому оптимальная глубина отбора проб здесь определяется мощностью почвенного слоя. В этом случае надежное опробование площади достигается путем увеличения глубины закопушек или с помощью специальных пробоотборников.

В условиях гумидной зоны, при полном выщелачивании ореолов рассеяния из делювиальных отложений до глубины 1—2 *м*, представительный горизонт опробования лежит ниже зоны выщелачивания. Отбор проб с этого горизонта производится проходкой копушей или чаще шпуров, либо скважин соответствующей глубины.

Представительность разных фракций проб установлена по результатам анализа фракций от класса 10 *мм* до класса меньше 0,1 *мм*. При этом выяснилось, что в пробах, отбираемых в горных районах аридной зоны, существенного различия в содержаниях элементов в крупных и мелких фракциях не наблюдается, и каждая из них четко отражает содержания элементов в исходной пробе, не разделенной на фракции. Однако фракции крупнее 3 *мм*, содержащие значительно меньшее количество обломков, являются менее представительными, чем фракции меньше 1,0 *мм* при равном весе. Поэтому при опробовании элювиально-делювиальных отложений в этих районах в пробу отбирают фракции крупностью меньше 1,0 *мм*.

На участках, перекрытых эоловыми отложениями, фракция пробы менее 1,0 *мм* является мало представительной вследствие сильного разубоживания ее мелкими пылеватыми частицами чуждого происхождения. Поэтому для обнаружения ореолов рассеяния элементов-спутников и особенно урана наряду с увеличением глубины пробоотбора до горизонта элювиально-делювиальных отложений необходимо производить ситование пробы для отделения чуждого материала крупностью меньше 0,25 *мм* и использовать для анализа фракцию 0,25—1,0 *мм*. Бóльшая контрастность ореолов этой фракции по сравнению с фракцией меньше 1 *мм* видна на рис. 42. Здесь отбор проб производился по борту канавы с глубины 0,5 *м* ниже горизонта эоловых суглинков.

Вес пробы. В результате проведения опытно-методических исследований по определению начального веса проб установлено, что содержание элементов в пробах различного веса — от 10 до 100 *г* — практически остается неизменным. Поэтому вес пробы в основном определяется количеством мелкозема, входящего в исследуемую фракцию пробы. Опыт металлометрических работ показывает, что для выделения в 10—20 *г* фракции менее 1,0 *мм*, необходимой для люминесцентного и спектрального анализов, вес отбираемой пробы должен составлять 50—100 *г*; для выделения той же навески фракции 0,25—1 *мм* при наличии пылеватых частиц чуждого происхождения вес пробы должен быть увеличен до 100—200 *г*.

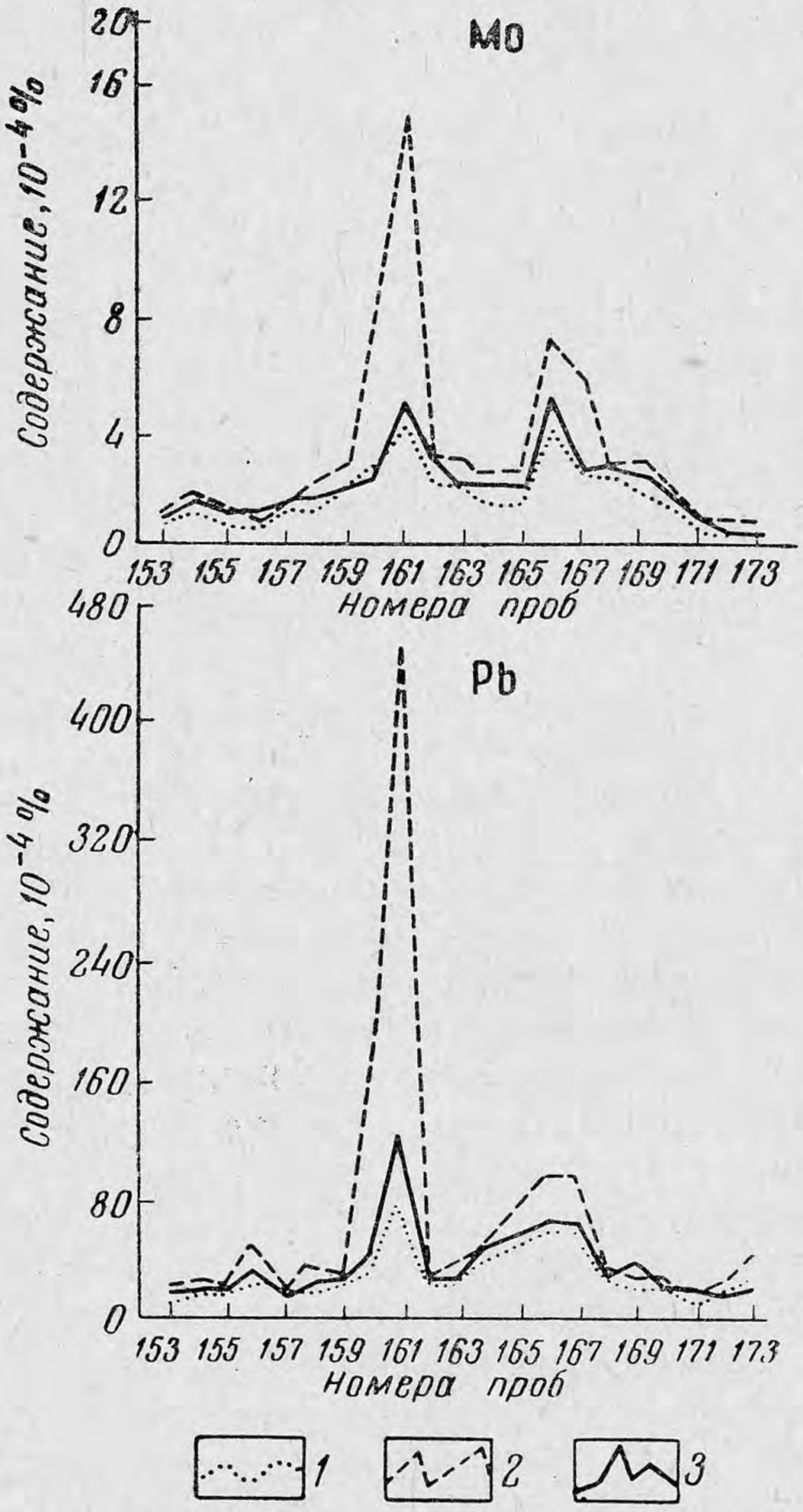


Рис. 42. Месторождение VI. Сопоставление содержаний элементов в различных фракциях проб (по Е. А. Майоровой)

Содержание элементов: *1* — во фракции менее 0,25 *мм*; *2* — во фракции 0,25 — 1,0 *мм*; *3* — во фракции менее 1,0 *мм*

Отбор проб производят только из незагрязненного отвалами рыхлого покрова. В случае какого-либо препятствия для отбора пробы точку пропускают, смещают по профилю или переносят за его пределы, о чем делают отметку в полевой книжке. Свежий песчано-глинистый материал, отобранный в пробу с хорошо зачищенного дна закопушки или дна борозды плужной съемки, ссыпают в заранее нумерованные и сложенные по порядку номеров мешочки, которые отправляют с соответствующей сопроводительной запиской (прилож. 1) на обработку.

В засушливых районах в отличие от районов с влажным климатом, особенно в условиях сглаженного рельефа выделение необходимой для анализа фракции пробы весом 10—20 *г* может производиться непосредственно на точке пробоотбора. Просеянный через соответствующее сито материал пробы собирают в заранее приготовленные бумажные пакеты с надписью номера и места отбора пробы. Этот прием дает возможность уменьшить вес проб, доставляемых с места отбора, и направлять их сразу на истирание. Применение данного способа ограничивается степенью сухости отбираемого материала, в условиях влажного климата он исключается. В сухом климате использование его наиболее рационально по бороздам плужной гамма-съемки. При расстоянии между бороздами 20—50 *м* бригада из двух человек отбирает за смену до 300—350 проб.

Отбор проб по закопушкам выполняет бригада, состоящая из коллектора и двух рабочих. Такая бригада обычно производит разбивку профилей, совмещая последнюю с отбором проб. Производительность труда при отборе проб с одновременной разбивкой профилей колеблется в зависимости от сложности рельефа участка, глубины отбора проб, расстояния между профилями и указана в справочниках «Единые нормы выработки» (ЕНВ).

Наименее производителен отбор проб в районах гумидного климата при глубине выщелоченного горизонта около 1 *м*. В условиях тайги и трудной

проходимости применение средств механизации при проходке шпуров затруднено, и шпуры для гамма-измерений или эманационной съемки проходят вручную. Отбор проб производят в пределах гамма-аномалий или эманационных аномалий с целью их оценки (см. глава V) бригадой, выполняющей радиометрические измерения. Пробы отбирают путем забивания трубки в дно пройденного шпура. В этом случае вес пробы составляет всего 10—20 *г*.

Отобранные пробы направляют в лабораторию, регистрируют, обрабатывают (см. раздел «Лабораторные исследования») и передают на спектральный и люминесцентный анализ. Для сокращения количества сравнительно трудоемких люминесцентных анализов содержание урана определяют только в пробах с тех участков, в пределах которых установлены повышенные содержания элементов, сопутствующих урану.

На участках выявленных вторичных ореолов рассеяния, соседних профилях, взаимно плохо увязывающихся по результатам, а также на интересных в геологическом отношении площадях, где при первоначальном опробовании ореолы не установлены, производят контрольное переопробование.

Полевую документацию пробоотбора производят в полевой книжке, в которой, кроме номера пробы, номера мешка и данных о привязке, отмечают ряд особенностей, необходимых для увязки профилей с геологической картой и интерпретации данных, полученных в результате анализа проб (прилож. 2).

Графическое изображение результатов

Результаты анализов металлометрических проб рыхлых отложений наносят на схему профилей и изображают графически в виде карт изоконцентраций или графиков распределения элементов по профилю. Карты составляют для каждого из химических элементов на кальке и накладывают на геологическую карту соответствующего масштаба.

Учитывая низкую точность спектральных анализов, при составлении карт изоконцентраций рекомендуется брать сечение изолиний не меньше трехкратного увеличения содержания элемента. Четыре изолинии, проведенные через 3, 10, 30 и 100 *гф*, достаточно четко разделяют площади по содержанию элемента и не перегружают карты. Площади менее 3 *гф* оставляют незакрашенными. Остальные четыре интервала содержаний (3—10, 10—30, 30—100 и более 100) закрашивают резко отличающимися цветами — желтый, зеленый, синий, красный — или одним цветом, принятым для данного элемента, с постепенным увеличением густоты тона.

Для изображения результатов металлометрического опробования при масштабе поисков мельче 1 : 10 000, а также при опробовании рыхлых отложений по нескольким разобщенным профилям составляют графики содержаний элементов по профилям. Наглядность графического изображения результатов и четкость выделения границ повышенного содержания элемента зависят от выбора вертикального масштаба, определяемого величиной геохимического фона данного элемента.

В практике геохимических поисков урановых рудных тел с использованием элементов-спутников для графического изображения их содержаний наиболее часто применяют следующие вертикальные масштабы:

для урана — в 1 *см* 5 или $10 \cdot 10^{-4}\%$
для свинца — в 1 *см* 20 или $100 \cdot 10^{-4}\%$ (иногда и больше)
для молибдена — в 1 *см* 5—10, иногда $20 \cdot 10^{-4}\%$
для меди — в 1 *см* $50 \cdot 10^{-4}\%$.

Геологическая оценка вторичных ореолов рассеяния

Ореолы рассеяния урана и элементов, сопутствующих ему, установленные в результате опробования элювиально-делювиальных отложений и обработки данных анализов проб, подвергают предварительной геологической

оценке непосредственно на участке работ. При осмотре участка устанавливают признаки, характеризующие геологические и геоморфологические особенности площади развития ореолов, связь их с тектоническими нарушениями и зонами трещиноватости, выявляют причины возможного загрязнения поверхности отвалами, транспортировкой руд, хвостами обогатительных фабрик и т. п. Устанавливают также необходимость дополнительных исследований, позволяющих уточнить геологическое строение участка и определить с большей достоверностью местоположение рудоносной зоны или первичных ореолов в коренных породах.

По данным такого предварительного изучения участка определяют необходимость детализации выявленных ореолов рассеяния, объем контрольного опробования, а также необходимость удлинения профилей, концы которых не вышли за пределы ореолов рассеяния того или иного элемента.

Результаты детализации позволяют уточнить границы ореолов и распределение элементов в них, а также произвести количественную оценку ореолов рассеяния урана и сопутствующих элементов путем подсчета количества металла в ореоле по профилю в метропроцентах (линейная продуктивность) и количественного соотношения элементов. Как уже было показано (см. главу II), подсчет линейной продуктивности ореолов в рыхлых отложениях позволяет оценить металлоносность ореолов в коренных породах и установить величину соотношения содержаний урана и сопутствующих ему элементов, играющих роль оценочного критерия при поисках урановых рудных тел и месторождений.

На участках ореолов урана и сопутствующих ему элементов, получивших соответствующее геологическое объяснение и не вызывающих сомнения в их связи с геологическими структурами, намечают места заложения горных выработок — канав или шурфов. При заложении канав для вскрытия вторичных ореолов рассеяния следует руководствоваться следующими положениями, учитывающими возможность некоторого смещения ореола по склону:

а) при вытянутости ореола рассеяния вкрест горизонталям канава закладывается в гипсометрически более высоко расположенной части ореола; центр канавы должен совпадать с наиболее высокими содержаниями элементов в делювии; длина канавы устанавливается в зависимости от ширины ореола;

б) при ориентировке длинной оси ореола рассеяния параллельно горизонталям склона канаву проходят в средней части ореола или на профиле, где отмечены наиболее высокие концентрации элементов в ореоле; канаву начинают на пикете, где установлены наиболее высокие содержания в ореоле, и от этой точки проходят вверх по склону до полного пересечения ореола;

в) если ореол рассеяния расположен диагонально по отношению к элементам склона, при заложении канавы сочетаются положения, изложенные в предыдущих пунктах.

Горные выработки должны проходиться с углублением в коренные породы, по которым производят геохимическое опробование, для установления положения в них первичных ореолов.

Опробование стенок выработок

При мощности рыхлых отложений 0,5—1,0 *м* величина смещения вторичного ореола по отношению к первичному обычно незначительна (первые метры), но при большой мощности делювиальных отложений она может достигать 10—20 *м* и более. Для установления величины смещения необходима проходка канав с измерением гамма-активности и металлометрическим опробованием их стенок.

В зависимости от длины и глубины канавы отбор проб проводят через 2—5 *м* по горизонтали и 0,5—1,0 *м* по вертикали. При этом рекомендуется отбирать точечные или вертикально расположенные бороздовые пробы длиной 20 *см* при ширине и глубине борозды до 2—3 *см*.

Своевременно полученные данные анализов проб бортового опробования канав дают возможность;

а) уточнить местоположение выхода рудного тела или рудовмещающей структуры на поверхности коренных пород;

б) уточнить связь между ореолами рассеяния элементов в рыхлых отложениях и коренных породах и в случае необходимости удлинить канаву для надежного вскрытия последних;

в) установить вертикальную протяженность ореолов рассеяния урана и сопутствующих ему элементов в рыхлых отложениях по направлению к поверхности и определить величину смещения ореолов по отношению к их источнику;

г) уточнить глубину представительного горизонта опробования;

д) сопоставить продуктивность ореолов рассеяния по разным горизонтам разреза делювиальных отложений с продуктивностью ореолов в коренных породах и установить величину свинцово-уранового отложения.

Опробование бортов канав производят, кроме того, в канавах, проходка которых не внесла ясности и не вскрыла причины появления на поверхности вторичного ореола, а также в нескольких канавах, вскрывших рудные тела или рудоносные зоны, где наиболее полно и типично представлен разрез четвертичных отложений. Результаты металлометрического опробования стенок канав представляют не только методический интерес, но и способствуют правильной оценке аномалий.

5. ОПРОБОВАНИЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Опробование аллювиальных отложений производят для выявления потоков рассеяния урана и сопутствующих ему элементов, являющихся признаками для оценки перспективности площадей на уран. Это опробование целесообразно комплексировать с гидрогеохимическими исследованиями и проводить в районах с расчлененным рельефом и густой гидросетью.

Данные работы в общем случае должны предшествовать наземным радиометрическим поискам масштаба 1 : 25 000, однако проведение их рационально также в перспективных районах, уже опоисковапных радиометрическими методами в масштабе 1 : 25 000 и крупнее. По потокам рассеяния локализуют перспективные площади, размеры которых соответствуют рудным полям и месторождениям, поэтому результаты опробования аллювия могут направлять поиски более крупных масштабов — 1 : 10 000—1 : 5000.

Нецелесообразно проводить опробование мощных конусов выноса аллювия в пенепленизированных областях, на плоскогорьях, в широких долинах, а также на площадях развития молодых отложений из дальнеприносного материала (лёссов, морен и т. п.). Не имеет смысла проводить опробование аллювия на площадях, загрязненных отвалами подземных горных выработок, отходами обогатительных фабрик.

Методика полевых работ

Методика и техника опробования аллювиальных отложений, а также основные требования к документации пробоотбора подробно изложены во «Временной инструкции по уранометрической съемке» (Квашневская, Комаров, 1960), поэтому здесь обратим внимание лишь на основные положения методики и отдельные вопросы, не отраженные в указанной инструкции, но имеющие существенное значение при опробовании аллювия не только на уран, но и на сопутствующие ему элементы — свинец, молибден, медь, мышьяк и др.

Пробы аллювия и в обводненных, и в сухих логах, как правило, отбирают из русловой (наиболее пониженной) части долины ручья (лога), к которой в поперечном сечении потока рассеяния обычно приурочены максимальные

концентрации элементов. Исключением являются крупные, широкие (речные) долины, русловые отложения которых могут быть в значительной степени разубожены материалом безрудных площадей бассейна. В таких долинах опробование аллювиальных отложений следует заменить отбором проб пролювия подножья склонов вдоль обоих бортов долины.

На рис. 43 приведены результаты опробования аллювиальных, пролювиальных и делювиальных отложений в рудном поле гидротермального уранового месторождения, расположенного в борту долины реки, верховья которой находятся в 40 *км* выше месторождения. Рельеф участка резкорасчлененный с абсолютными высотами 1000—1500 *м* и относительными превышениями 200—300 *м*. Обнажения коренных пород занимают 15—20% площади участка, остальная площадь закрыта элювиально-делювиальными отложениями мощностью до 1,5—2,0 *м*. Линзообразные и гнездообразные рудные тела локализованы в зонах дробления, секущих экструзивные фельзиты и фельзит-порфиры. С рудными телами связаны ореолы рассеяния урана, свинца, молибдена и меди. Как видно на рис. 43, в аллювиальных отложениях реки потоки рассеяния урана и сопутствующих ему элементов не обнаруживаются, в то время как в пролювии подножья склонов отмечаются четкие аномалии урана и свинца.

Расстояние между точками отбора проб вдоль водотоков (шаг опробования) зависит от длины потоков рассеяния и выбирается с таким расчетом, чтобы потоки рассеяния месторождения отметились не менее чем двумя пробами. Опираясь на имеющиеся к настоящему времени данные о протяженности потоков рассеяния, связанных с гидротермальными урановыми месторождениями (см. главу II), можно считать, что шаг опробования 100—200 *м* обеспечивает надежную фиксацию потоков рассеяния месторождения. В районах, где известны урановые месторождения, выбор оптимального шага опробования может быть сделан на основании опытных данных по способу, предложенному Е. А. Сизовым (1960).

Систематическое опробование аллювия проводят в долинах протяженностью более 500—600 *м*. В логах длиной 500—600 *м* отбирают две пробы — в приустьевой части лога и в 100—200 *м* выше устья. Лога длиной менее 500 *м* следует обязательно опробовать в тех случаях, если они впадают непосредственно в долины водотоков протяженностью 3—4 *км* и более, в которых при неблагоприятных условиях потоки рассеяния могут не проявиться.

В районах с резкорасчлененным рельефом долины ручьев и логов, в которых производят опробование, обычно расположены в 200—1000 *м* друг от друга, вследствие чего сеть маршрутов при опробовании аллювия строго не выдерживается и примерно соответствует сети маршрутов геологических съемок масштабов 1 : 25 000—1 : 100 000. При такой сети опробования на 1 $км^2$ площади приходится от 15 до 30 проб. Разрежение сети маршрутов опробования до 2 *км* и более может привести к пропуску геохимических аномалий, поэтому при проведении специализированных поисков гидротермальных урановых месторождений по потокам рассеяния такое разрежение нецелесообразно. Мелкомасштабное (рекогносцировочное) опробование аллювия можно считать допустимым лишь при массовых поисках урана.

Пробы аллювия обычно отбирают непосредственно с поверхности, т. е. из самых молодых аллювиальных отложений, элементный состав которых дает наиболее правильное представление о составе размываемых современных элювиально-делювиальных образований. Отбор проб с некоторой глубины (30—50 *см*) необходим в безводных задернованных логах и на площадях с горно-луговым ландшафтом. Почвенный покров в этом случае выщелочен и обеднен, поэтому для выявления потоков рассеяния пробы аллювия целесообразно отбирать из-под почвенного слоя.

Результаты металлометрического опробования аллювия иногда во многом зависят от того, какую фракцию подвергают опробованию и анализу.

В горных районах аридной зоны выбор представительной фракции аллювия главным образом зависит от характера рыхлых отложений, развитых

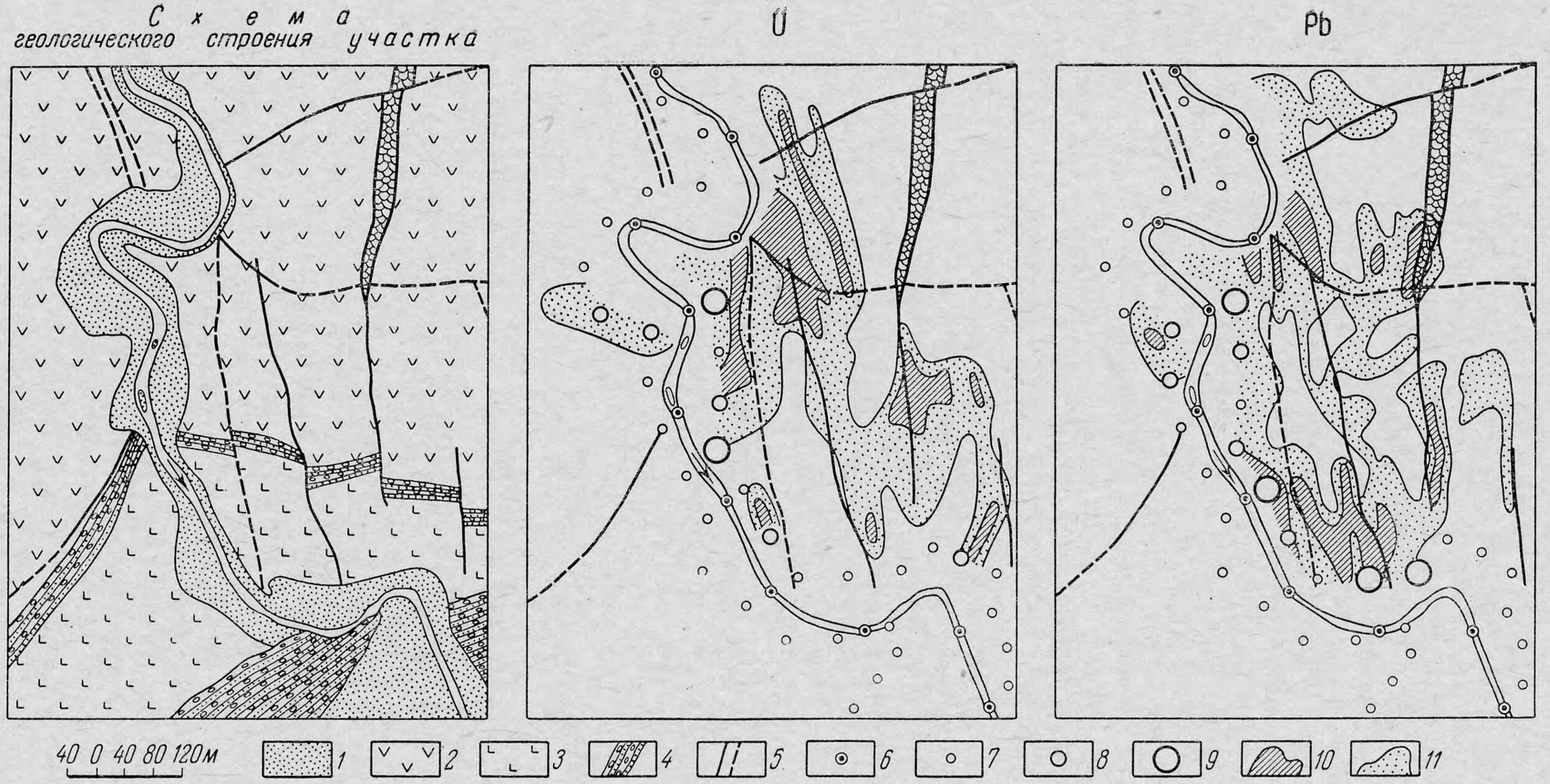


Рис. 43. Месторождение VIII. Распределение урана и свинца в делювиальных, пролювиальных и аллювиальных отложениях (по А. Н. Боголюбову)

1 — аллювиальные отложения; *2* — фельзиты; *3* — дациты; *4* — красноцветные песчаники и конгломераты; *5* — тектонические нарушения; *6* — пробы аллювия с содержанием менее 3, *гф*. Содержание элементов в пробах пролювия, *гф*: *7* — менее 3; *8* — от 3 до 10; *9* — более 10. Содержание элементов в ореолах рассеяния делювия, *гф*: *10* — более 10; *11* — от 3 до 10

в пределах данной водосборной площади. На площадях, где покров рыхлых отложений представлен элювио-делювием, следует опробовать фракцию аллювия менее 1 *мм*, в которой потоки рассеяния проявляются достаточно контрастно.

В бассейнах, отдельные участки которых заняты лёссами, а также в предгорьях аридной зоны, где в результате эоловой деятельности происходит современное накопление дальнеприносных пылеватых частиц, следует анализировать песчаную фракцию класса 0,25—1,0 *мм*, чтобы избежать разубоживания пробы мелкой фракцией.

Вопрос о выборе фракции при опробовании аллювия в районах гумидной зоны заслуживает особого рассмотрения. В составе аллювиальных отложений этих районов присутствует большое количество гниющих растительных остатков. При сортировке в условиях водотока органический материал в той или иной мере обособляется от песчано-алевритовой фракции аллювия. На участках замедленного течения — в заводях, у берегов — накапливается гумус, а песчано-алевритовая фракция отлагается на участках с более быстрым течением.

Опробование илисто-органического материала позволяет выявлять солевые потоки рассеяния урана, которые могут быть не зафиксированы в песчано-глинистой фракции аллювия. В этом отношении отбор илисто-органического материала имеет преимущество. Однако использование данного материала имеет и недостатки. К ним относятся.

1. Наличие повышенных концентраций урана в илисто-органической фракции алювия прежде всего свидетельствует в том, что данные гидрогеохимические условия благоприятствуют сорбции и осаждению урана органикой и накоплению его в аллювии. Аккумуляция урана органикой, как уже указывалось (см. главу II), имеет место не только в водах, омывающих рудные тела. Нередко весьма значительное содержание урана в илисто-органической фракции аллювия (сотые и первые десятые доли процента) наблюдается на безрудных площадях развития некоторых гранитоидов. При наличии таких аккумуляций урана в аллювии трудно выделить механические потоки рассеяния, характеризующиеся сравнительно низким содержанием урана.

2. Элементный состав солевых потоков рассеяния, проявляющихся в органических илах, может резко не соответствовать составу ореолов, связанных с урановыми рудными телами, что обусловлено главным образом различиями в условиях миграции урана и сопутствующих ему элементов (свинца, молибдена, меди, цинка, мышьяка), формой их нахождения в растворе и избирательной сорбционной способностью природных органических веществ в данных ландшафтных условиях.

Известно, что свинец, цинк, медь более подвижны в кислородной, кислой и слабокислой средах и менее подвижны в нейтральной и щелочной средах, в то время как уран и молибден высоко подвижны в кислородной щелочной среде (Перельман, 1961). По данным А. П. Виноградова (1957), мышьяк накапливается в черноземах, серых почвах, в меньшей степени в каштановых и подзолистых почвах, где отмечается прямая корреляция содержания мышьяка с органическими веществами. Однако торфяные и аллювиальные почвы Севера, несмотря на большое количество в них органики, бедны мышьяком.

Таким образом, элементный состав солевых геохимических аномалий в аллювии в значительной степени обусловлен миграционными способностями элементов и ландшафтными условиями, трудно поддающимися учету.

3. В сухих задернованных логах при промывном режиме солевые потоки в илисто-органической фракции аллювия не формируются, а уран и сопутствующие ему элементы выщелачиваются. В таких условиях при опробовании гумусового горизонта могут быть пропущены механические потоки рассеяния, развитые в подпочвенном слое.

4. Для объяснения причин образования скоплений урана в аллювии, обогащенном органическими веществами, требуется изучение кластической фракции аллювия и выполнение гидрогеохимических исследований.

Следовательно, в районах гумидной зоны при опробовании аллювия не только на уран, но и на сопутствующие ему элементы необходимо, чтобы пробы, отбираемые из аллювиальных отложений, содержали, помимо органики, также и кластический (песчано-глинистый) материал, являющийся носителем сравнительно малоподвижных элементов-спутников, в частности свинца.

Оптимальный вес отбираемых проб должен быть, по возможности, минимальным, но достаточным, чтобы обеспечить представительность пробы и трехкратное повторение люминесцентного и спектрального анализов. Опыт показал, что таким условиям удовлетворяет навеска в 20 *г*. Для получения данной навески нужной фракции (0,25 или 0,25—1,0 *мм*) обычно достаточно отбирать пробы песчано-глинистого материала весом 50—100 *г*. Опробование аллювия производят бригадой, состоящей из коллектора (оператора) и рабочего. Производительность бригады при шаге 100—200 *м* составляет 40—70 проб за семичасовой рабочий день.

Полевыми документами металлометрического опробования аллювия являются журнал опробования (прилож. 3) и карта расположения проб на топооснове масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000. При отсутствии такой топоосновы допустима привязка точек отбора проб к топокарте масштаба 1 : 100 000, спантографированной до масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000. В журнале опробования указывают название или номер ручья (лога), номер пробы, номер мешочка; дают краткую характеристику места отбора пробы (русло ручья, сухой лог и т. п.); описывают характер материала пробы (мелкозернистый песок, глина с растительными остатками и т. п.). В примечании отмечают характер рельефа, обнаженность склонов, контакты пород, зоны тектонических нарушений и наличие в бассейне чуждых отложений (лёссов, суглинков и т. п.). Положение точек отбора проб и номера проб отмечают на карте при проведении опробования.

Отобранные пробы просушивают и направляют для обработки, которую производят на базе полевой партии. Далее они поступают на спектральный и люминесцентный анализы (см. раздел «Лабораторные исследования»).

Графическое изображение результатов

Результаты опробования аллювия изображают в виде карт распределения урана и сопутствующих ему элементов в аллювии, на которых показывают гидросеть, наносят точки отбора и обозначают пробы с аномальными содержаниями элементов. Необходимые для составления карт значения геохимических фонов элементов и нижние пределы аномальных содержаний определяют методами вариационной статистики (см. раздел «Опытно-методические работы»).

Как уже отмечалось, геохимический фон элемента в аллювии водотока зависит от геохимического фона элемента в коренных породах, развитых в его бассейне, поэтому геохимический фон элемента в аллювии следует определять отдельно для каждого участка, сложенного той или иной разновидностью пород. Это положение иллюстрирует рис. 44. Очевидно, что выбор общего геохимического фона для всей площади привел бы к пропуску слабых потоков рассеяния свинца на участке, сложенном серыми граносиенитами, и обусловил бы появление ложных аномалий на площади развития красных граносиенитов.

Существует несколько способов графического изображения результатов опробования аллювия.

1. Положение проб на карте обозначают кружками, диаметр которых находят в зависимости от содержания элемента (см. рис. 27). Этот способ изображения нагляден, но весьма трудоемок, так как требует для каждого элемента составления отдельной карты с изображением каждой пробы в соответствии с содержанием элемента, поэтому в производственных работах применять его не рекомендуется.

2. Пробы на карте обозначают кружками диаметром 5—7 *мм* и каждому элементу отводят определенный сектор кружка. Величину содержаний элементов показывают различными цветами. Такие карты очень неудобны для рассмотрения и интерпретации результатов.

3. Для каждого элемента составляют отдельную карту. Точки отбора проб наносят в виде кружков одинакового размера (диаметр 2—3 *мм*). Кружки, соответствующие пробам с аномальными содержаниями элементов, закрашивают различными цветами в зависимости от содержания элемента, установленного в данной пробе. Для наглядного сопоставления относительной интенсивности геохимических аномалий различных элементов содержания их выражают не в процентах, а в единицах геохимического фона, и одинаковые по интенсивности аномалии каждого элемента обозначают одним и тем же цветом. Наиболее часто применяют варианты градаций и их условные обозначения, указанные в табл. 23.

Таблица 23

Рекомендуемые интервалы содержаний элементов в аллювии и их условные обозначения

Содержание элементов, *гф*		Цвет закраски кружка
I вариант	II вариант	
<3	<3	
3—10	3—6	Желтый
10—30	6—12	Зеленый
30—100	12—25	Синий
>100	>25	Красный

Примечание. Кружки, соответствующие пробам с содержанием <3 *гф*, не закрашивают.

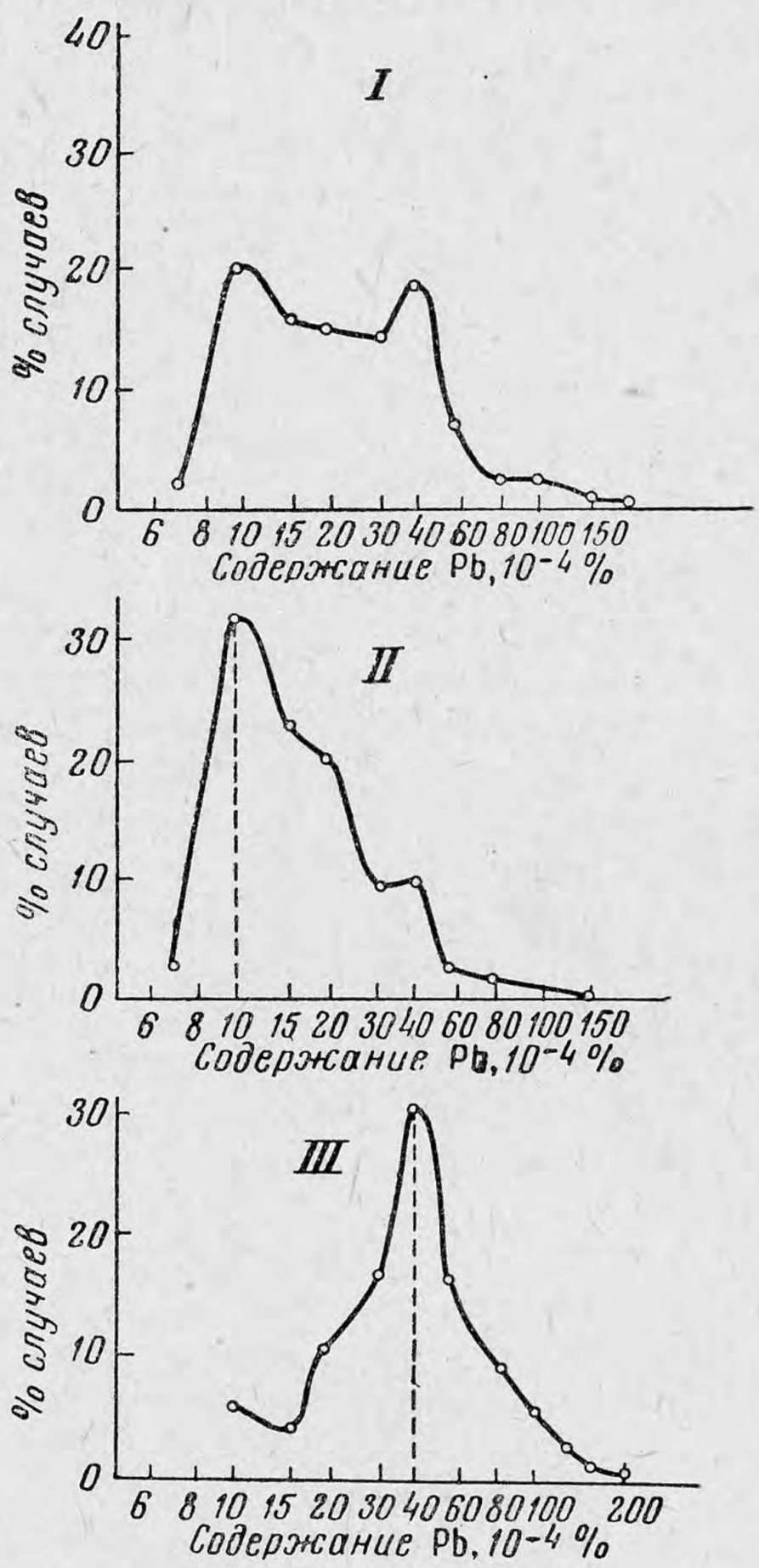


Рис. 44. Вариационные кривые содержаний свинца в пробах аллювия (по А. Н. Боголюбову)

I — для всей площади (860 проб); *II* — для участка, сложенного серыми граносиенитами, (521 проба, геохимический фон $1 \cdot 10^{-3}$ %); *III* — для участка, сложенного красными граносиенитами (339 проб, геохимический фон по кривой $4 \cdot 10^{-3}$ %)

При проведении производственных работ в значительных объемах такой способ изображения результатов представляется наиболее рациональным. Схему расположения проб (с их номерами) составляют на кальке, с которой делают отпечатки на светочувствительной бумаге по числу элементов, для которых предполагают составление карт.

Кроме карт распределения отдельных элементов, составляют сводную карту, на которой потоки рассеяния каждого элемента изображают в виде линий различного цвета, параллельных оси лога (см. рис. 26). Довольно широко распространено обозначение потоков рассеяния урана красной линией, а свинца и молибдена соответственно синей и зеленой линиями. Длина линии указывает протяженность потока рассеяния. В тех случаях, когда содержания элементов в потоках рассеяния колеблются в значительных пределах, интенсивность потока рассеяния элемента может быть показана линиями различной толщины. Например, тонкой линией может обозначаться поток рассеяния с содержанием от 3 до 10 *гф*, толстой — свыше 10 *гф*. Сводную карту составляют на геологической основе имеющегося масштаба.

Интерпретация результатов

Оценку геохимических аномалий, выявленных в аллювии, и выделение перспективных площадей проводят с учетом геологического строения изученной территории, результатов опытных работ на известных урановых месторождениях района, условий формирования потоков рассеяния в данной ландшафтной зоне, предполагаемого типа потока рассеяния (механический или солевой), а также результатов, полученных при гидрогеологической и аэрогамма-съемках.

При интерпретации результатов опробования аллювиальных отложений в районах, где урановые месторождения неизвестны, а следовательно, отсутствует возможность получения опытных данных, необходимо ориентироваться на геохимические различия гидротермальных урановых месторождений, мелких непромышленных эндогенных урановых рудопроявлений и экзогенных скоплений урана, установленные для всех изученных районов. Они вкратце сводятся к следующему.

1. Ни одно из изученных промышленных гидротермальных урановых месторождений не является моноэлементным; в рудах и ореолах рассеяния урановых месторождений обычно отмечается от 3 до 8 элементов, имеющих концентрацию в 10—30 раз и более выше фоновой. Наиболее распространенными элементами-спутниками урана в гидротермальном рудогенезе являются свинец, молибден, мышьяк, цинк и серебро, реже отмечаются медь и таллий.

2. В мелких непромышленных рудопроявлениях урана, рудные тела которых глубоко эродированы, иногда отмечаются ореолы рассеяния молибдена, но для них совершенно не характерны ореолы свинца.

3. На безрудных площадях развития гранитоидов нередко имеет место аккумуляция урана в илисто-органической фракции аллювия из вод за счет подвижного урана и тонкодисперсной фракции продуктов выветривания гранитов, а также накопление в виде россыпи урансодержащих акцессорных минералов. В таких скоплениях уран, как правило, не сопровождается элементами-спутниками, характерными для гидротермальных месторождений.

Исходя из этих общих закономерностей, наиболее перспективными в отношении нахождения промышленных гидротермальных месторождений следует считать бассейны, где пространственно совпадают потоки рассеяния урана, свинца, молибдена или других элементов, сопутствующих урану в гидротермальных месторождениях. Учитывая прямую зависимость продуктивности механических потоков рассеяния от размеров и интенсивности ореолов рассеяния, детальные работы в первую очередь следует проводить на участках, где механические потоки рассеяния урана и сопутствующих ему элементов имеют наибольшую продуктивность.

Оценка аномалий урана, не сопровождающихся элементами-спутниками, менее определенна. В тех случаях, когда аномалии урана связаны с илисто-органической фракцией аллювия, а в песчано-алевритовой фракции аномалий не отмечается, вопрос о перспективности участка решается главным образом на основании результатов гидрогеохимических исследований.

Наличие механических потоков рассеяния урана в области развития изверженных пород при отсутствии аномалий элементов-спутников по имеющимся к настоящему времени данным является признаком неблагоприятным, свидетельствующим либо о глубокой эрозии рудных тел, либо обогащения аллювия урансодержащими акцессорными минералами. Поэтому площади развития таких аномалий не являются объектами первой очереди детального опоискования. Урановые аномалии в илисто-органических фракциях аллювия с высокими содержаниями урана (нередко сотые — десятые доли процента), широко проявленные на площади развития гранитоидов определенного типа, свидетельствуют о накоплении урана в аллювии, однако при отсутствии потоков рассеяния элементов-спутников урана — свинца, молибдена, меди, мышьяка — или прямых признаков уранового оруденения нали-

чие таких аномалий еще не является основанием для положительной оценки участка.

Все вышесказанное, разумееется, касается потоков рассеяния только гидротермальных урановых месторождений. В области развития осадочных образований площади развития потоков рассеяния урана требуют детального опоискования независимо от наличия или отсутствия элементов-спутников. При проведении опробования аллювия на площади развития осадочных пород в отобранных пробах наряду с элементами-спутниками урана, характерными для гидротермальных месторождений, целесообразно определять содержание элементов, типоморфных для осадочных месторождений (ванадий, фосфор и др.).

Ассоциации элементов, сопутствующих урану в потоках рассеяния, могут указать, к гидротермальному или осадочному типу относится предполагаемое урановое проявление, являющееся источником потоков рассеяния. С учетом геологического строения площади эти данные позволят целеустремленно направить полевые работы и выбрать самую рациональную методику их проведения. Вопросы интерпретации урановых потоков рассеяния более подробно разобраны во «Временной инструкции по уранометрической съемке» (Квашневская, Комаров, 1960).

Применение радиометрии для выделения потоков рассеяния урана и радия

Как указывалось выше, содержание урана в потоках рассеяния гидротермальных урановых месторождений в ряде случаев не превышает $(10—20) \times \times 10^{-4}\%$ при геохимическом фоне $(3—4) \cdot 10^{-4}\%$. Опытные работы, проводившиеся в различных районах, показали, что полевые гамма- и бета-измерения, регистрирующие суммарное излучение радиоактивных элементов ряда урана, тория и калия, для выделения таких аномалий не эффективны. Изменение концентрации радиоактивных элементов в породах, нарушение радиоактивного равновесия (обычно в сторону недостатка радия), а также различия в геометрии полевых измерений на отдельных точках создают переменные поля гамма- и бета-излучений, на фоне которых потоки рассеяния с небольшим содержанием урана часто не отмечаются. Надежная фиксация потоков рассеяния урана и радия в аллювии может быть достигнута, по-видимому, только путем создания полевой аппаратуры и методики количественного определения урана и радия, начиная с кларковых содержаний урана $(2—5) \cdot 10^{-4}\%$.

Лабораторные бета-измерения проб аллювия производят некоторые организации, ведущие массовые поиски урана. Обобщение и анализ материалов таких работ для отдельных районов показали, что на площадях с широким развитием изверженных пород этот метод имеет низкую эффективность.

На рис. 45 показана корреляция содержания урана в пробах аллювия по данным люминесцентного анализа и эквивалентное содержание урана, определенное в тех же пробах лабораторными бета-измерениями. Пробы отобраны в рудном районе на площади около 200 $км^2$, где преимущественным развитием пользуются кислые эффузивные породы и их интрузивные аналоги. Анализы проб сделаны тщательно. Люминесцентным методом содержание урана определено дважды. В случае расхождения результатов выполняли третье определение. Бета-активность пробы измеряли в стакане с насыщенным слоем для бета-излучения, в центре стакана помещали бета-трубку. Производили два отсчета с набором не менее 300 импульсов.

Линиями нижних границ аномалий все поле корреляционной диаграммы делится на четыре области. Первая из них заключает 40% общего числа проб, которые характеризуются фоновым содержанием урана и фоновой бета-активностью. Во второй области находятся пробы (15% общего числа), имеющие повышенное содержание урана, но фоновую бета-активность. Третья область заключает пробы с повышенным содержанием урана и аномальной бета-активностью (21% общего числа проб). В четвертой находятся пробы с

низким — фоновым — содержанием урана, но аномальной активностью (24 % общего числа проб).

Как видно, количественная корреляция содержания урана и бета-активности неудовлетворительна, во многих случаях отсутствует даже качественная корреляция. Из общего числа проб аллювия с повышенным содержанием урана при измерении бета-активности в данном районе как аномальные выявляются лишь 58 % проб. В то же время из числа проб с аномальной бета-активностью 53 % имеют фоновое содержание урана.

Причиной неудовлетворительной корреляции содержания урана в пробах аллювия и их бета-активности, а следовательно, и низкой эффективности бета-измерений для выявления потоков рассеяния урана является высокий

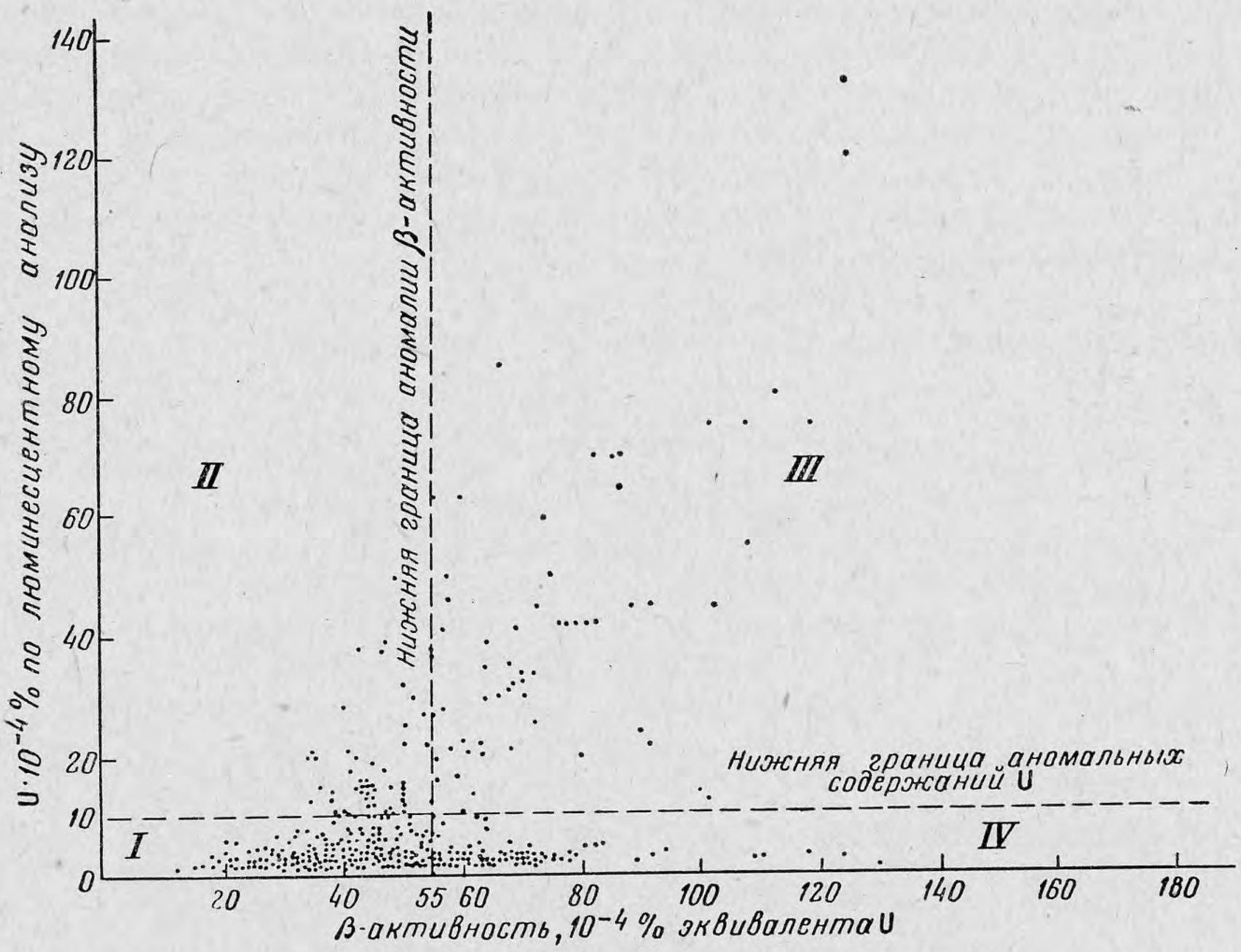


Рис. 45. Корреляционная зависимость между содержаниями урана в пробах аллювия и бета-активностью этих проб

уровень помех, обусловленный неравномерным распределением бета-излучателей (урана, радия, тория и калия) в породах и наличием локальных участков аллювия, обогащенных торийсодержащими акцессорными минералами, создающими неурановые аномалии радиоактивности.

О низкой эффективности бета-метода при поисках потоков рассеяния урана в аллювии свидетельствуют работы, проведенные в ряде горных районов. Например, в одном крупном регионе, где широким развитием пользуются кислые интрузивные породы, опробование аллювия проводили специализированная организация, ведущая поиски месторождений урана, и территориальное геологическое управление. В первой организации пробы аллювия анализировали люминесцентным методом; в управлении проводили промер проб по бета-лучам с последующим люминесцентным анализом проб, имеющих повышенную бета-активность. Общее количество проанализированных проб составляет многие десятки тысяч.

Обобщение материалов этих работ показало, что в экспедиции одна аномалия урана в аллювии приходится в среднем на 800 проб, в то время как в управлении подавляющее большинство аномалий бета-активности не подтверждается люминесцентным методом, и одна аномалия урана приходится только на 5000 проб. Площади работ этих организаций имеют примерно

равную перспективность, поэтому различие в количестве аномалий урана в аллювии, по-видимому, объясняется тем, что при бета-измерениях проб из-за высокого уровня помех и неравномерного содержания тория потоки рассеяния с относительно небольшим содержанием урана не фиксируются.

Таким образом, можно сделать вывод, что в районах со сложным геологическим строением и широким развитием изверженных пород применение бета-измерений проб аллювия для выделения потоков рассеяния урана нерационально.

Следует отметить, что при поисках на площадях с более или менее простым геологическим строением замена люминесцентного анализа бета-измерениями проб не исключается, однако использовать бета-метод можно лишь в том случае, если опытными работами будет доказано, что местный уровень помех не препятствует выделению потоков рассеяния урана с содержанием $(10—15) \cdot 10^{-4}\%$.

Для уменьшения количества трудоемких люминесцентных анализов на площадях, где нет оснований ориентироваться на поиски осадочных урановых месторождений, рационально сначала все пробы аллювия анализировать спектральным методом на элементы-спутники урана (свинец, молибден, цинк, медь, мышьяк и др.) и затем люминесцентным методом определять уран в пробах аллювия с тех участков, где обнаружены повышенные концентрации этих элементов.

6. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из основных условий успешного применения геохимических методов является организация полевой лабораторной базы на современном техническом уровне.

Практика обслуживания ряда поисковых партий, выполняющих объемы металлометрических работ только центральной лабораторией, находящейся за сотни километров от места работ, приводит к несвоевременной выдаче данных анализов, а следовательно, задержке выводов о результатах работ. В связи с этим в поисковых партиях, где объем геохимических исследований составляет 15—20 тыс. проб и более, должна предусматриваться организация спектральной и иногда люминесцентной лабораторий, выполняющих анализы на уран и ряд химических элементов, сопутствующих ему в пределах изучаемых рудных полей данного района. При меньших объемах геохимических работ целесообразно иметь одну лабораторию, обслуживающую две-три сравнительно близко расположенные партии.

Общие положения о составе лаборатории, ее структуре, характере работ и нормах выработки приведены в «Справочнике укрупненных норм для проектирования геологоразведочных работ» (1960).

Прежде чем металлометрические пробы поступят в лабораторию для исследования, они должны пройти стадию предварительной обработки. В связи с этим при организации лаборатории необходимо предусмотреть оборудование помещения для предварительной ручной обработки проб рыхлых отложений, а также механического дробления на щековой и валковой дробилках проб коренных пород и истирания всех проб на вибрационном истирателе или растирочных станках системы Казахского геофизического треста.

Обработка проб

Конечной целью обработки проб является выделение из общего объема пробы навески установленной крупности и измельчение ее до состояния пудры. Обработку проб рекомендуется проводить в порядке последовательного расположения проб по профилю или по порядку номеров мешков, с соблюдением условий, исключающих возможность заражения одной пробы другой. После каждой пробы, как правило, производят чистку дробилок путем пропускания «пустой породы» или с помощью щеток. Стаканы растирочных

станков очищают специальными стальными ершами, смонтированными на оси электромотора небольшой мощности.

Технологическая схема обработки проб приведена в «Инструкции по металлометрической съемке» (1957). Ниже кратко излагается последовательность предварительной подготовки проб к анализу, принятая и оправдавшая себя в практике геохимических работ.

Полученные в мешочках пробы под наблюдением коллектора раскладывают по порядку номеров и сверяют с данными сопроводительной записки, в которой, кроме номеров мешочков и проб, указан способ обработки (прилож. 1). Все замеченные несоответствия с записями в сопроводительной отмечают и при первой возможности выясняют с оператором, выполнявшим отбор металлометрических проб.

Наиболее современным способом удаления влаги из проб является их сушка на железных листах под лампами инфракрасного излучения мощностью 500—1000 *вт*.

Пробы коренных пород передают на дробление — щековое и валковое, пробы из рыхлых отложений просеивают и квартуют. Просеивание проб производят через сито с диаметром отверстий, выбранным для данных условий. Отсеянную часть пробы квартуют по методу кольца и конуса и в количестве 10—20 *г* отбирают в бумажный пакет. На обратной стороне пакета надписывают номер мешка, а на лицевой — номер партии, номер пробы и год. Таким же способом производят выделение навески из проб коренных пород, прошедших стадию дробления. Оставшуюся часть отсеянного или раздробленного материала в соответствии с записью в сопроводительной выбрасывают в отвал или часть ее (100—200 *г*) помещают в пакет большего размера с аналогичной надписью и направляют для производства других видов исследований, требующих большого объема пробы — бета-измерения, каппаметрия.

Пробы в малых пакетах передают на истирание до крупности 200 *меш* на стержневые мельницы (растирочные станки Казахского геофизического треста) или вибрационные истиратели (тип 75Б-ДР или др.). Часто употребляемые дисковые истиратели типа Брауна наименее удобны для истирания проб малого веса, они дают низкую производительность и подлежат замене как устарелые. При отсутствии станков пробы истирают вручную в фарфоровых ступах.

Средняя производительность обработки проб на одного человека за семичасовой рабочий день по отдельным видам выражается следующими цифрами:

Сушка проб и просеивание	200—250 проб
Ручное истирание навески в 5—10 *г*	80—90 »
Механическое истирание навески в 20—30 *г* (см. ЕНВ)	до 400 »
Механическое дробление пробы весом 0,5 *кг* с чисткой дробилки и валков после каждой пробы	50—60 »

Анализ металлометрических проб

Среди различных видов лабораторных исследований, выполняемых в практике применения геохимических методов, особое место занимают такие аналитические методы исследования, которые позволяют с наибольшей быстротой и достаточной чувствительностью установить элементный состав проб и дать оценку малых содержаний в них рудных элементов. К ним относятся эмиссионный спектральный анализ, одновременно определяющий содержания большого количества элементов, и люминесцентный анализ для определения содержания урана.

Люминесцентный анализ проб является одним из наиболее надежных современных массовых методов определения малых содержаний урана, характерных для ореолов рассеяния и вмещающих пород. В основе его лежит свойство перлов фтористого натрия, активированного ураном, люминесци-

ровать под действием ультрафиолетовых лучей. В определенном интервале концентрации урана в перле фтористого натрия интенсивность свечения перла пропорционально увеличивается в зависимости от увеличения количества урана. После того как молекулярная концентрация урана в перле достигает величины $5 \cdot 10^{-2}\%$ (молекула активатора UO_2F_2 на 2000 молекул NaF), дальнейшее увеличение содержания урана ведет к уменьшению интенсивности люминесценции. Концентрации урана от $1 \cdot 10^{-4}\%$ до $n \cdot 10^{-2}\%$, обычно определяемые в металлометрических пробах, не выходят за пределы указанной выше молекулярной концентрации.

Интенсивность свечения перлов определяют с помощью люминесцентных фотометров ЛЮФ-55, ЛЮФ-57 и стрелочного фотометра ФАС-1. Первые два являются серийными приборами, выпускаемыми промышленностью. Последний начали выпускать с 1962 г.

В настоящее время люминесцентный анализ применяют в нескольких модификациях, отличающихся друг от друга жесткостью разложения урансодержащих соединений, входящих в состав навески исследуемой пробы. В зависимости от поставленных задач и химической устойчивости соединений урана в анализируемых пробах, разложение производят:

а) 2%-ным раствором углекислого натрия с добавлением пергидроля (метод Н. Х. Айдиньян);

б) смесью концентрированных соляной и азотной кислот (метод ВИРГа);

в) смесью концентрированных соляной и серной кислот с добавлением фтористого аммония (метод В. С. Быковой);

г) сплавлением с содой или пиросульфатом калия.

При разложении проб углекислым натрием в раствор переходит так называемый подвижный уран, находящийся в легко растворимых формах. Способ обработки 2%-ным раствором углекислого натрия с добавлением пергидроля позволяет определять концентрации урана в $1 \cdot 10^{-6}\%$ при навеске пробы 0,5 *г*, но является сравнительно трудоемким. Этот метод частично применялся нами для изучения особенностей поведения урана в первичных ореолах некоторых месторождений.

При обработке проб смесью концентрированной соляной и азотной кислот происходит разложение и переход в раствор всех собственно урановых минералов, в том числе и силикатов урана, присутствующих в породах гидротермальных и осадочных урановых месторождений. При этом урансодержащие акцессорные и породообразующие минералы вмещающих пород разрушаются только частично и, следовательно, влияние урана, присутствующего в них и составляющего основную долю фонового содержания, становится незначительным, что особенно важно для работ в пределах развития кислых интрузивных и эффузивных пород.

Чувствительность анализа при кислотной обработке проб близка к $1 \times \times 10^{-4}\%$ и удовлетворяет требованиям, обеспечивающим выделение малых содержаний урана, характерных для ореолов рассеяния урановых рудных тел. Основным недостатком этого метода является необходимость активации перла путем погружения его в исследуемый раствор. Эта операция требует от исполнителя соответствующих практических навыков и строгого соблюдения постоянства условий активации перла, чтобы получить совпадение результатов анализа одной и той же пробы. При четкой организации работ производительность этого метода достигает 200—250 анализов, выполняемых бригадой из трех лаборантов за семичасовой рабочий день.

Методики с наиболее жестким разложением навески (фторидными реагентами, сплавлением с содой или пиросульфатом калия), позволяющие выделить уран из всех минералов, в том числе и труднорастворимых акцессорных урансодержащих, в практике геохимических исследований для массовых определений применяют редко. Эти методики используют при определении кларков урана в различных породах. Возможность перевода в раствор всего урана, присутствующего в анализируемой пробе, приводит к по-

вышению геохимического фона и исключает возможность выделения ореолов рассеяния с небольшим содержанием урана. Производительность этих методов составляет 15—20 проб на одного исполнителя за семичасовой рабочий день.

Практика геохимических работ показала, что для изучения и отчетливой фиксации ореолов рассеяния урана возможно применение способа обработки проб как смесью концентрированных соляной и азотной кислот, так и разбавленным раствором соды с добавлением перекиси водорода. Однако первый способ отличается большей простотой выполнения и более высокой производительностью. Поэтому при производственном выполнении геохимических работ, когда необходимо анализировать большие количества проб, целесообразно применять методику анализа с кислотным разложением проб.

Методика люминесцентного анализа и различные способы обработки проб изложены во «Временной инструкции по уранометрической съемке», составленной Н. В. Квашневской и В. С. Комаровым (1960).

Спектральный анализ проб. Определение содержания элементов, сопутствующих урану в металлометрических пробах, производят при помощи спектрального анализа, позволяющего установить химический состав исследуемого вещества посредством наблюдения оптического линейного спектра, излучаемого его атомами и ионами. Этот метод дает возможность анализировать пробу одновременно на большое количество элементов с достаточной чувствительностью для большинства из них, необходимой для выделения малых содержаний элементов, характерных для ореолов рассеяния; метод имеет высокую производительность, прост и дешев. Особым преимуществом спектрального анализа является возможность фотографической документации химического состава исследуемой пробы.

Основными приборами для спектрального анализа металлометрических проб являются кварцевые спектрографы средней дисперсии — ИСП-22 и ИСП-28. В качестве источников возбуждения твердого вещества исследуемой пробы применяют дугу постоянного или переменного тока. Спектры проб фотографируют на фотопластинки, расшифровку которых производят на спектропроекторе ПС-18 или ДСП-1. В практике геологоразведочной службы для массовых определений содержания элементов используют полуколичественные методы эмиссионного спектрального анализа, различающиеся по способу введения проб в дуговой разряд.

Испарение проб в дуговом разряде носит характер фракционной возгонки, при которой в плазму дуги в первый отрезок времени поступают легколетучие элементы, а затем, когда потенциал разряда и температура дуги возрастают, поступают и фиксируются с максимальной чувствительностью труднолетучие элементы. При этом фон спектрограмм увеличивается, а видимость линий легколетучих элементов уменьшается. Наилучшие условия возбуждения спектров приведены в табл. 24 (данные спектральной лаборатории ВИТРа).

Таблица 24

Условия возбуждения спектра для разных металлов

Условия анализа	Zn, Cd, As, Pb, Bi, Na ($t_{кип} < 1500°$)	Ag, Cu, W, Sn, Sb, Cr, Co ($t_{кип}$ 1500—3000°)	Mo, Ta, Nb, Zr, Pt, Ti, Be ($t_{кип} > 3000°$)
Сила тока, *а*	6—8	8—12	12—20
Время экспозиции, *сек*	30	60	120
Диаметр канала электрода, *мм*	2	3	4
Глубина канала электрода, *мм*	6	4	3

Наиболее широко распространенным приемом полуколичественного спектрального анализа является способ просыпки порошковых проб в плазму горизонтально расположенной угольной дуги переменного тока (Недлер, 1936) с помощью вдувания исследуемого порошка в дугу струей воздуха (Русанов, Тарасова, 1955). Этот способ по сравнению с устарелым способом сжигания пробы в канале угольного электрода имеет ряд преимуществ: анализируемый материал вводится в дуговой разряд равномерно, вследствие чего не происходит фракционированного испарения пробы и связанной с ним последовательности проявления линий элементов; снижается влияние состава анализируемой пробы; значительно повышается воспроизводимость определений; увеличивается чувствительность определения многих элементов (на порядок и выше), а также производительность выполнения анализов: уменьшается стоимость анализов.

Испарение проб производится при силе тока 20—22 *а* за 15—18 *сек.* Метод введения порошковых проб в дуговой разряд изложен в «Спектральном анализе металлометрических проб» (Лонцих, Недлер, Разтаум, 1959).

Методики полуколичественного спектрального анализа основаны на пропорциональности между концентрацией данного элемента в пробе и интенсивностью его спектральных линий. Чувствительность аналитических линий приведена в «Атласе спектральных линий» (Калинин и др., 1952).

В простейшем случае полуколичественное определение производят визуальным сравнением линий проб и эталонов, близких к ним по составу. Большей точности анализа можно достигнуть, если его дополнить методом появления линий, предложенным В. К. Прокофьевым (1935).

В настоящее время для расшифровки спектрограмм применяют метод ступенчатого ослабителя (Клер, Хохлов, 1953), основанный на установке перед щелью спектрографа специального платинового десятиступенчатого ослабителя или вращающегося сектора. Вследствие этого на спектрограммах каждая линия получается разделенной на ряд ступенек с убывающим почернением. При интерпретации спектрограммы определяют, через сколько ступенек ослабителя проникает данная линия, и по градуировочным графикам, построенным по $\lg J$ (число ступенек) и $\lg C$ (концентрация элемента), определяют содержание элемента в пробе.

Полуколичественные методы интерпретации спектрограмм позволяют разграничивать содержание элементов в долях каждого десятикратного интервала, например: 0,01—0,015—0,02—0,03—0,04—0,05—0,06—0,08—0,1%.

Существующая чувствительность спектрального анализа в настоящее время обеспечивает возможность выявления ореолов рассеяния многих рудных элементов при применении геохимических методов поисков. Однако, как видно из табл. 25, чувствительность анализа недостаточна для определения кларковых содержаний многих элементов. Поэтому для этих элементов ореолы, незначительно превышающие величину кларка, могут остаться невыявленными. Дальнейшее развитие и усовершенствование геохимических методов поисков требует повышения чувствительности спектрального анализа для этих элементов.

В настоящее время имеются данные о достигнутом повышении чувствительности спектрального определения ряда элементов (Сафронов, Сергеев, 1960) примерно на один-два порядка с использованием специальных приемов. Однако в практике металлометрических съемок эти приемы вследствие их относительной сложности и специфичности для отдельных элементов, пока не получили надлежащего массового применения.

Производительность спектрального анализа на 10—15 элементов, без учета вспомогательных операций, составляет 300—400 проб за рабочий день на одного лаборанта-спектроскописта и одного техника-оператора. Точность спектрального анализа в связи с непостоянством валового состава проб составляет 100—200% от ожидаемой величины, особенно для малых содержаний, близких к порогу чувствительности метода для данного элемента.

Таблица 25

Чувствительность спектрального анализа на ряд элементов, определяемых способом просыпки

Элемент	Кларки элементов, %	Чувствительность анализа, %	Элемент	Кларки элементов, %	Чувствительность анализа, %
Барий	$6{,}5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Молибден	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Бериллий	$3{,}8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Мышьяк	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Ванадий	$9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Никель	$5{,}8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Висмут	$9 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-4}$	Олово	$2{,}5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Вольфрам	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Свинец	$1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Галлий	$1{,}9 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	Серебро	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Иттербий	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	Скандий	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Иттрий	$2{,}9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	Таллий	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Кобальт	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Сурьма	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Литий	$3{,}2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	Цирконий	$1{,}7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Кадмий	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Цинк	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Марганец	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$	Хром	$8{,}3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Медь	$4{,}7 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$			

Примечание. Кларки элементов даны для кислых пород по А. П. Виноградову (1962).

При более высоких содержаниях элемента в пробах точность определения составляет 50—100%.

Большое значение при спектральном анализе имеет качество эталонов, по которым производят количественную оценку содержания элементов в пробах. В настоящее время приготовление эталонов проводится силами спектральных лабораторий. В зависимости от навыка исполнителя, условий и тщательности приготовления эталоны имеют различную качественную и количественную характеристику. Вследствие этого результаты анализа, выполненные различными лабораториями, часто значительно расходятся. Поэтому для одной площади или участка работ использование данных различных лабораторий крайне нежелательно, и если такая необходимость возникает, то следует иметь, по крайней мере, 100—200 проб с различными содержаниями элементов, проанализированными в обеих лабораториях.

Для повышения точности анализов и возможности сопоставления результатов различных спектральных лабораторий необходимо иметь единые серии эталонов на широкий круг элементов, изготовленных одной аналитической лабораторией по специально разработанным техническим условиям. Так как химический состав металлометрических проб меняется в зависимости от характера пород, каждая лаборатория, кроме того, должна иметь несколько серий эталонов, приближающихся по своему химическому составу к составу анализируемых проб.

ГЛАВА IV

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

Исследователями последних лет в ряде рудных районов, где известны урановые месторождения и проведены крупномасштабные радиометрические поиски, доказана возможность применения при поисках скрытых урановых гидротермальных месторождений геохимических методов, а именно геохимического опробования коренных пород, элювиально-делювиальных и аллювиальных отложений. В данной главе на конкретных примерах рассматриваются рациональное сочетание указанных методов и последовательность их применения при поисках скрытых урановых рудных тел гидротермальных месторождений.

Среди задач, к решению которых могут быть привлечены геохимические методы при поисках скрытых урановых рудных тел и месторождений, необходимо указать следующие:

1) выделение площадей в пределах рудных районов, перспективных для обнаружения скрытых и слабоэродированных урановых месторождений;

2) оценка перспектив отдельных участков в пределах выделенных площадей, рудных полей и известных урановых рудопроявлений с целью выбора тех из них, на которых скорее всего могут быть обнаружены скрытые урановые рудные тела;

3) поиски новых скрытых рудных тел на эксплуатируемых и разведуемых урановых месторождениях и оценка перспектив их глубоких горизонтов.

1. ВЫДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Важной задачей, которая стоит перед организациями, проводящими поиски в пределах рудных районов, является сравнительная оценка отдельных площадей с целью выделения тех из них, где скорее всего могут быть обнаружены скрытые и слабоэродированные месторождения. В этих районах обычно уже проведены геологические и радиометрические поиски различных масштабов, в результате которых выявлены благоприятные геологические критерии и многие сотни урановых рудопроявлений, гамма- и эманационных аномалий. Однако эти материалы в ряде случаев не дают однозначный ответ при оценке перспективности отдельных площадей. Как показали исследования, важные дополнительные сведения для сравнительной оценки площадей могут быть получены благодаря применению геохимических поисков по потокам рассеяния.

В результате опробования аллювиальных отложений, проводимого на основе геологической карты масштаба 1 : 50 000 или 1 : 25 000, выявляют потоки рассеяния урана и сопутствующих ему элементов. Наличие или отсутствие потоков рассеяния этих элементов и соотношения их содержаний наряду с геологическими и радиометрическими критериями рассматривают

как дополнительные признаки для оценки относительной перспективности исследованных площадей.

Пример 1. В одном из рудных районов, сложенном кислыми эффузивами и пересеченном разломами северо-восточного простирания, расположены урановое месторождение, ряд рудопроявлений и известны многочисленные гамма- и эманационные аномалии, выявленные в результате многолетних поисковых работ. В этом районе было проведено опробование аллювиальных отложений. Как видно из рис. 46, на котором изображена часть исследованного района, многочисленные потоки рассеяния урана и свинца развиваются вблизи месторождения и в пределах его рудного поля. Вторая группа потоков рассеяния тяготеет к разлому *IV* и оперяющим его нарушениям. На площади, приуроченной к разлому *V*, которая считалась также перспективной, потоки рассеяния отсутствуют, а к югу от разлома *I* развиты лишь потоки рассеяния урана и отсутствуют потоки рассеяния свинца — главного для исследованного района элемента-спутника урана. Как та, так и другая площади по результатам геохимических исследований являются мало перспективными для возможного обнаружения скрытых рудных тел, в отличие от площади, тяготеющей к разлому *IV*.

На одном из участков этой площади при опробовании делювиальных отложений выявлены ореолы рассеяния урана и свинца, последующая разведка которых на глубину (участок *7*) привела к вскрытию урановых рудных тел небольших размеров.

Как следует из приведенного примера, по результатам опробования аллювиальных отложений выделяются локальные площади, представляющие наибольший интерес для поисков скрытых и слабоэродированных урановых месторождений. Эти площади обычно составляют лишь небольшую часть исследованной территории. Так, в приведенном примере перспективная площадь занимает около 5% исследованного района.

2. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

При оценке перспективности отдельных участков, выделенных по совокупности благоприятных геологических признаков, а также площадей с выявленными гамма-аномалиями и урановыми рудопроявлениями с точки зрения возможности обнаружения в их пределах скрытых урановых тел может быть с успехом применено геохимическое опробование элювиально-делювиальных отложений и коренных пород. Полученные в результате опробования данные о распределении урана и сопутствующих ему элементов в элювиально-делювиальных отложениях и коренных породах на поверхности исследуемых участков, в частности, отношения продуктивностей ореолов элементов-спутников к урану используются как один из признаков при оценке участков.

Ниже приводятся примеры использования ореолов рассеяния урана и сопутствующих ему элементов для оценки перспективности отдельных участков и рудопроявлений, располагающихся как в пределах известных рудных полей, так и за их пределами.

Пример 2. В качестве примера выделения перспективного участка по комплексу признаков может быть рассмотрен участок *7* на площади, выделенной по данным опробования аллювия (см. рис. 46).

Участок пространственно располагается в месте затухания регионального разлома и характеризуется наличием потоков рассеяния свинца, повышенным содержанием урана и элементов-спутников в водах, радоновыми аномалиями в делювии. Кроме того, на поверхности установлены зоны пиритизации и осветления пород, приуроченные к тектоническим нарушениям, являющимся ветвями указанного регионального разлома, и следующим в основном по контактам даек кварцевых порфиров.

На участке при детальном геохимическом опробовании элювиально-делювиальных отложений и коренных пород были выявлены интенсивные ореолы



Рис. 46. Потоки рассеяния урана и свинца в одном из рудных районов (по Е. А. Майоровой и А. В. Соколову)

1 — тектонические нарушения и номера основных разломов; *2* — месторождения урана; *3* — рудопроявления урана; *4* — аномальные точки; *5* — площадь рудного поля. Потоки рассеяния, *гф*: *6* — урана (более 3); *7* — свинца (более 3); *8* — площади развития ореолов урана и свинца; *9* — перспективная площадь для поисков скрытых рудных тел

рассеяния сопутствующих урану элементов: свинца, молибдена и слабые (до $20 \cdot 10^{-4}$%) ореолы урана. Таким образом, все признаки свидетельствовали о перспективности участка, что и было подтверждено последующими поисково-разведочными работами. Буровыми скважинами на глубине 120—400 *м* пересечены несколько интервалов с кондиционным содержанием урана.

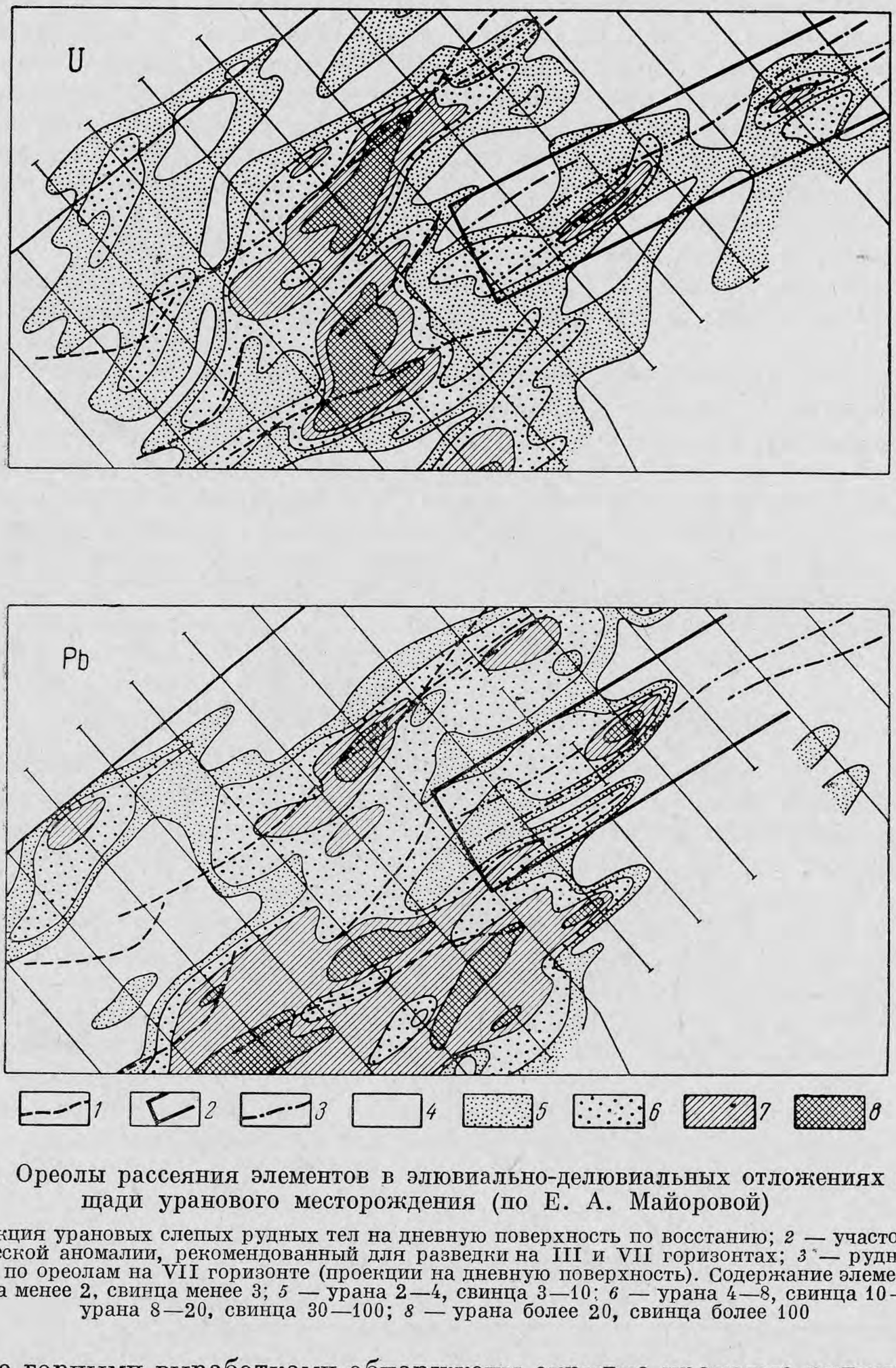


Рис. 47. Ореолы рассеяния элементов в элювиально-делювиальных отложениях на площади уранового месторождения (по Е. А. Майоровой)

1 — проекция урановых слепых рудных тел на дневную поверхность по восстанию; *2* — участок металлометрической аномалии, рекомендованный для разведки на III и VII горизонтах; *3* — рудные зоны, вскрытые по ореолам на VII горизонте (проекции на дневную поверхность). Содержание элементов, *гф*: *4* — урана менее 2, свинца менее 3; *5* — урана 2—4, свинца 3—10; *6* — урана 4—8, свинца 10—30; *7* — урана 8—20, свинца 30—100; *8* — урана более 20, свинца более 100

Позднее горными выработками обнаружены скрытые урановые рудные тела, хотя в целом рудопроявление оказалось небольшим.

Пример 3. Правильная оценка по геохимическим данным перспективности одного из участков подтверждена последующими горными выработками на фланге одного из урановых месторождений. В результате площадных геохимических исследований были зафиксированы в элювиально-делювиальных отложениях вторичные ореолы рассеяния элементов, аналогичные ореолам над известными слепыми урановыми рудными телами (рис. 47). При

опробовании с поверхности коренных пород эти ореолы были подтверждены. Детальные структурные и минералого-петрографические исследования, проведенные на поверхности, позволили установить наличие зон трещиноватости, совпадающих по направлению с главными рудовмещающими зонами месторождения, а также участки осветления, пиритизации и покраснения пород, и вкрапленность в породах темного флюорита.

Рекомендованные разведочные работы на этом участке позволили обнаружить на глубине 270 *м* группу сближенных в пространстве протяженных

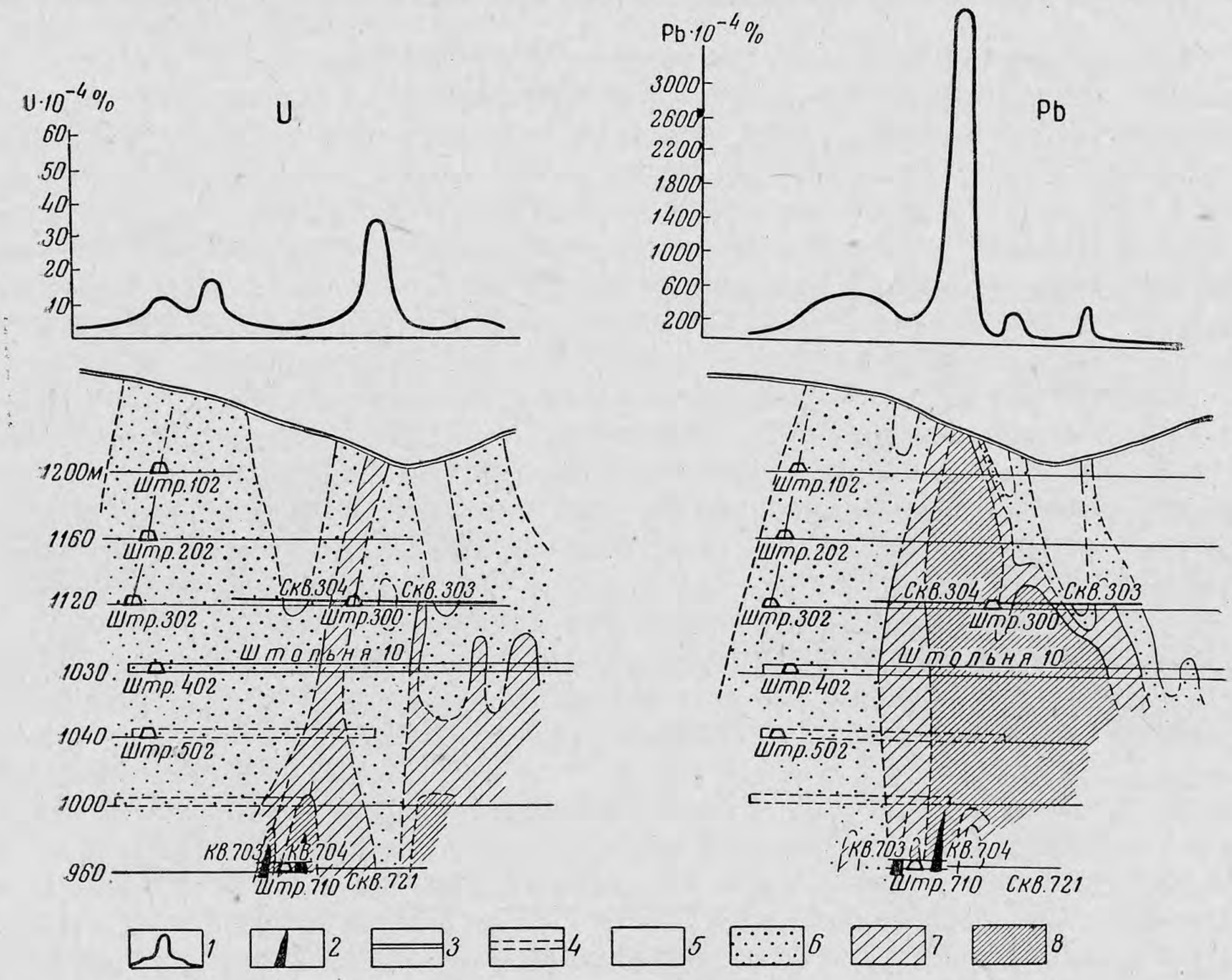


Рис. 48. Месторождение I. Ореолы урана и свинца над скрытыми рудными телами (по Н. Н. Сочеванову)

1 — кривая распределения элементов в делювиальных отложениях; *2* — рудные тела, выявленные по ореолам; *3* — опробованный интервал выработок; *4* — проекция горных выработок на разрез. Содержание элементов в ореолах рассеяния, *гф*: *5* — урана менее 2, свинца менее 3; *6* — урана 2—8, свинца 3—10; *7* — урана 8—25, свинца 10—25; *8* — урана и свинца более 25

скрытых урановых рудных тел. Разрезы ореолов рудных элементов, развивающиеся вокруг этих тел, изображены на рис. 48, 49. Несмотря на очень большое расстояние от поверхности до верхней границы балансовых руд (горизонт 960 *м*) и доказанное ранее пройденными выработками отсутствие рудных тел на четырех более высоких горизонтах, ореолы в делювиальных отложениях проявлены достаточно четко.

Большой контрастностью характеризуется вторичный ореол рассеяния свинца, несколько меньшей — урана (см. рис. 48), аномалия гамма-активности имеет большую ширину при малой интенсивности, ореол рассеяния молибдена зафиксирован, по-видимому, в самой верхней части, близкой к его окончанию (см. рис. 49).

Пример 4 иллюстрирует неправильную оценку участка только по ореолам рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях и общим геологическим признакам. В гидросети, дренирующей исследованный участок, развиваются протяженные и интенсивные потоки рассеяния урана, свинца и молибдена. На склонах участка зафиксированы ореолы рассеяния урана

и сопутствующих ему элементов в рыхлых отложениях и водах. Этот участок располагается в благоприятной структурной обстановке и характеризуется наличием нескольких точек с богатой урановой минерализацией на поверхности. На основании этих признаков до проведения опробования коренных пород и детальных минералого-петрографических наблюдений на участке были рекомендованы разведочные работы для выявления скрытых урановых рудных тел.

При проведении опробования коренных пород и детальных геологических наблюдений, выполненных после того как были начаты разведочные ра-

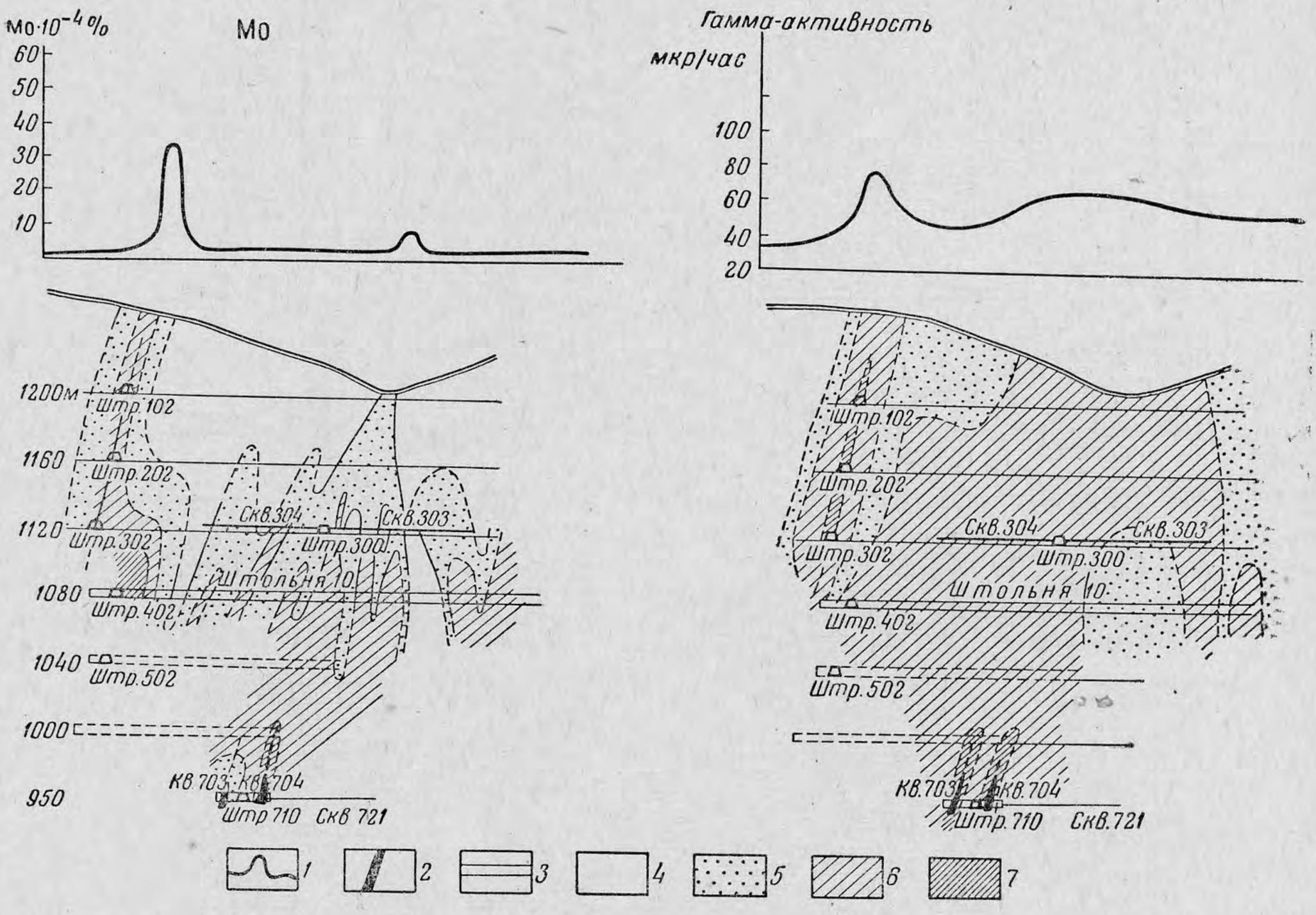


Рис. 49. Месторождение I. Ореолы молибдена и распределение гамма-активности над скрытыми рудными телами (по Н. Н. Сочеванову)

1 — кривая распределения элементов в делювиальных отложениях; *2* — рудные тела, выявленные по ореолам; *3* — опробованный интервал выработок. Содержание молибдена, *гф*: *4* — менее 2; *5* — 2—8; *6* — 8—25; *7* — более 25; гамма-активность, *мкр/час*: *4* — менее 45; *5* — 45—60; *6* — 60—100; *7* — более 100

боты, установлено: 1) ореолы урана в коренных породах имеют небольшие размеры, но характеризуются весьма высокой интенсивностью в отдельных точках; 2) проявления урановой и полиметаллической минерализации пространственно разобщены; 3) на площади отсутствует такой характерный для урановых месторождений района петрографический признак, как карбонатизация пород, в то же время интенсивно развита серицитизация, характерная для нижних частей урановых рудных тел и проявлений полиметаллического оруденения.

Разведочные выработки вскрыли полиметаллические рудные тела с наложенной непромышленной урановой минерализацией, что вполне согласуется с данными детальных геологических наблюдений.

* * *

Таким образом, лишь комплекс геохимических исследований с детальными структурными и минералого-петрографическими наблюдениями позволяет дать однозначный ответ при оценке того или иного участка.

В результате многолетних поисковых работ в различных районах наряду с промышленными месторождениями урана выявлено большое количество урановых рудопроявлений и аномальных точек. Некоторые из них могут быть перспективными для обнаружения скрытых рудных тел. Одной из главных задач, которая должна быть решена в ближайшие годы, является выбор из числа известных рудопроявлений наиболее перспективных для обнаружения скрытых рудных тел и обоснование постановки на них разведочных работ. На таких площадях часто с поверхности отмечается урановая минерализация, а проведенные в том или ином объеме разведочные работы оценивают рудопроявление отрицательно.

В то же время известно, что некоторые урановые месторождения, на которых установлены на глубине скрытые урановые рудные тела, первоначально привлекли к себе внимание наличием с поверхности гамма-аномалий или урановой минерализации. Разведка их на глубину в ряде случаев дала отрицательный результат, а скрытые рудные тела были обнаружены в стороне, иногда на расстоянии нескольких сотен метров от выходов урановой минерализации. Таким образом, наличие урановой минерализации с поверхности может рассматриваться лишь как признак, указывающий на возможное присутствие в пределах данного участка скрытых рудных тел.

Другими признаками являются ореолы урана и сопутствующих ему элементов, выявляемые путем опробования элювиально-делювиальных отложений и коренных пород. Это опробование, сопровождаемое детальными структурно-минералогическими и петрографическими наблюдениями, рекомендуется проводить и на рудопроявлениях, где уже намечены разведочные работы.

Пример 5. Рассмотрим результаты опробования элювиально-делювиальных отложений на площади одного разведуемого уранового рудопроявления, приуроченного к интрузивным кварцевым порфирам (рис. 50). В трещинах оперения юго-восточного разлома с поверхности была установлена обильная урановая минерализация.

На основе анализа распределения урана и сопутствующих ему элементов — свинца и молибдена, было сделано заключение о неперспективности на глубину вскрытых эрозией рудных тел в оперяющих трещинах юго-восточного разлома. Основанием для этого послужили высокие содержания урана и относительно небольшие концентрации свинца и молибдена в элювиальных отложениях и коренных породах, что характерно для участков с глубоко эродированными урановыми рудными телами. Разведочные работы проводились в основном на этом фланге рудопроявления для оценки на глубину ранее установленных с поверхности минерализованных ураноносных зон.

В то же время на северном фланге рудопроявления был выделен участок, характеризующийся наличием в рыхлых отложениях интенсивных ореолов рассеяния свинца и молибдена при незначительных по концентрации ореолах рассеяния урана. Для этой части площади характерно также высокое (>10) значение молибдено-уранового отношения. Такие соотношения содержаний элементов наблюдаются на участках над скрытыми урановыми рудными телами. Структурное положение этого участка было также благоприятным. На основании этих признаков были рекомендованы дополнительные горные работы для выявления предполагаемых скрытых рудных тел на северном фланге, которые привели к обнаружению рудных тел на глубине 80—120 *м* (рис. 51). На южном фланге, как и предполагалось, рудных тел в известных на поверхности оперяющих нарушениях обнаружено не было.

* * *

Одной из задач, которую приходится решать при проектировании разведочных работ для вскрытия предполагаемого скрытого рудного тела, является определение глубины его залегания.

В настоящее время надежные критерии для определения глубины залегания скрытых рудных тел с необходимой для целей практики точностью отсутствуют. Однако при заложении поисково-разведочных скважин представляется возможным использовать наряду с известными геологическими критериями комплекс вспомогательных признаков. Главными из них являются: установленная протяженность по восстанию ореолов рассеяния отдельных элементов над скрытыми урановыми рудными телами и зональность в распределении отдельных элементов и различных типов гидротермально измененных пород в надрудных интервалах ореолов урановых месторождений.

Для того чтобы не пропустить предполагаемое скрытое рудное тело, наиболее целесообразным является последовательное бурение профиля из двух-трех скважин, пересекающих перспективный интервал на различных глубинах. При этом первую скважину, учитывая протяженность ореолов рассеяния над скрытыми рудными телами, необходимо проектировать с расчетом пересечения предполагаемого рудного тела на глубине 100—130 *м* от поверхности. При отсутствии в пробуренной скважине промышленных концентраций руд, но увеличении интенсивности ореолов может быть задана скважина для подсечения предполагаемого скрытого рудного тела на большей глубине от поверхности. При этом совершенно необходимо детальное изучение керна первой скважины для установления благоприятных петрографических и минералогических признаков, а также геохимическое опробование всего керна, а на участках с низким выходом керна — бурового шлама.

3. ПОИСКИ НОВЫХ СКРЫТЫХ РУДНЫХ ТЕЛ НА РАЗВЕДУЕМЫХ И ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УРАНА

Для поисков скрытых урановых рудных тел на разведуемых и эксплуатируемых месторождениях и оценки этих месторождений на глубину, а также для определения направления разведочных выработок наряду с геологическими критериями успешно могут быть использованы геохимические признаки — ореолы химических элементов, ореолы гидротермально измененных пород и минералы-индикаторы, устанавливаемые в коренных породах вокруг урановых рудных тел. Существенную роль при этом играют закономерные изменения величин отношений продуктивностей ореолов химических элементов на разных уровнях относительно рудного тела, обусловленные вертикальной зональностью в распределении урана и сопутствующих ему элементов вокруг урановых рудных тел.

Следует отметить, что наличие в пробах аномальной концентрации только одного урана или повышенной гамма-активности пород недостаточно для положительной оценки зоны минерализации, поскольку ореолы урана (соответственно и гамма-активность) одинаково интенсивно развиваются как выше скрытых рудных тел, так и ниже их. При оценке глубины залегания предполагаемых скрытых рудных тел, наряду с наличием зоны измененных вмещающих пород и минералов-индикаторов, имеет значение присутствие элементов, образующих небольшие по протяженности (десятки метров) ореолы над скрытыми урановыми рудными телами. Эти элементы-индикаторы для разных месторождений могут быть различными. К их числу обычно относятся сопутствующие урану элементы, которые в рудах содержатся в невысоких концентрациях, но коррелируются с ураном.

Пример 6. Примером использования геохимических признаков для поисков слепых урановых рудных тел и оценки глубоких горизонтов месторождения могут служить результаты изучения ореолов и зон гидротермально измененных пород на нижних горизонтах одного из урановых месторождений жильного типа.

На одном из участков этого месторождения, на шестом — восьмом горизонтах горных выработок, вскрывающих урановое рудное тело, были проведены геохимические исследования. При этом было установлено ослабление

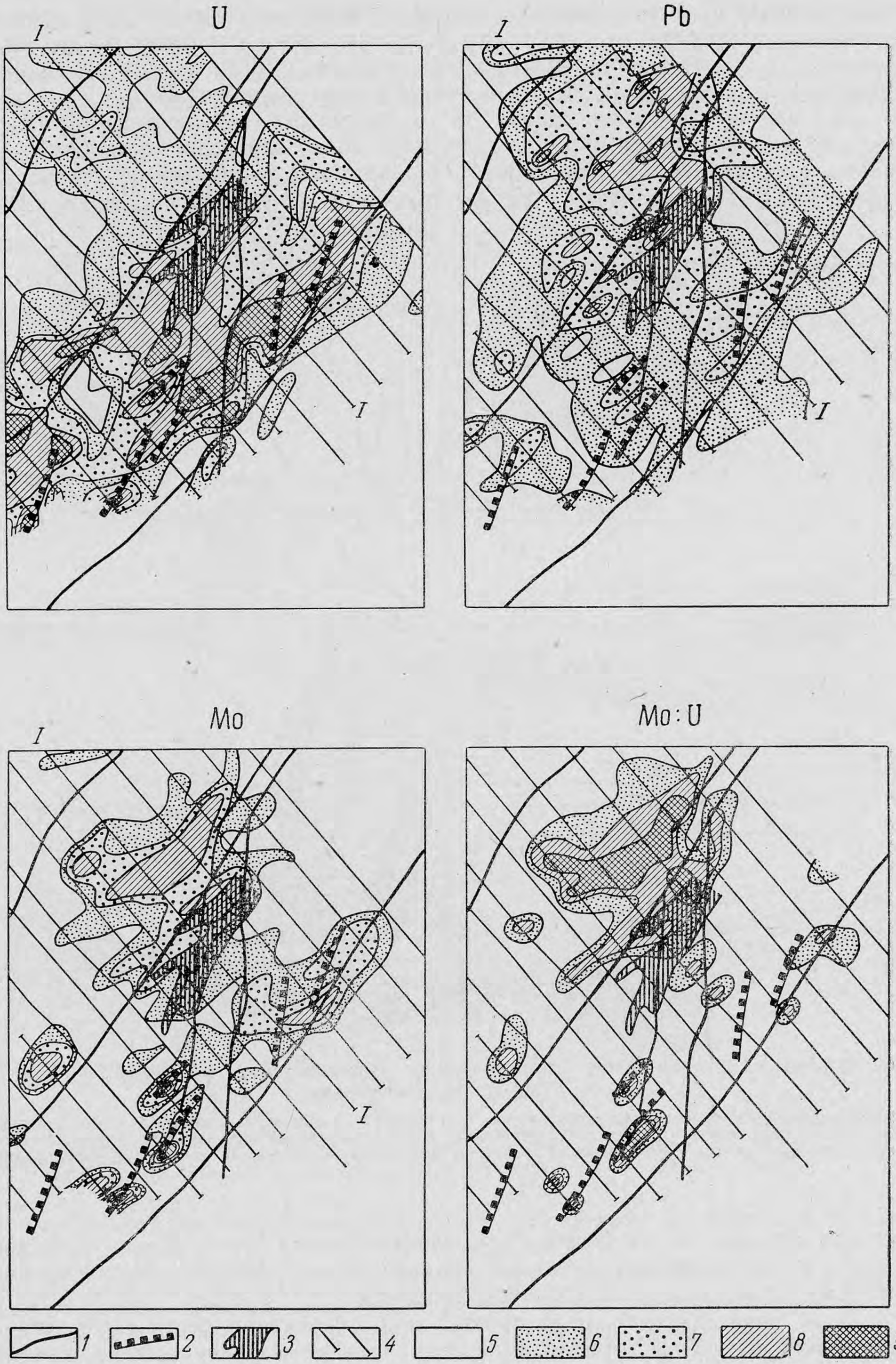


Рис. 50. Ореолы рассеяния элементов в эллювиально-делювиальных отложениях на площади уранового месторождения (по Е. А. Майоровой)

1 — тектонические зоны; *2* — минерализованные зоны на поверхности; *3* — рудное тело на горизонте штольни; *4* — профили отбора проб. Содержание элементов в ореолах рассеяния, *гф*: *5* — урана менее 2, свинца и молибдена менее 3, отношение молибдена к урану менее 1; *6*—урана 2—4, свинца и молибдена 3—10, отношение молибдена к урану 1—3; *7* — урана 4—8, свинца и молибдена 10—30; *8* — урана 8—20, свинца и молибдена 30—100, отношение молибдена к урану 3—10; *9* — урана более 20, свинца и молибдена более 100, отношение молибдена к урану более 10

интенсивности ореолов молибдена и весьма значительное ослабление ореолов свинца по сравнению с ореолами в выработках, расположенных выше (рис. 52, 53, зона «Меридиональная»). Осветление и пиритизация пород здесь проявлены незначительно, вкрапленность галенита отсутствует.

Все эти признаки указывали на то, что выработки шестого горизонта вскрыли нижнюю часть рудного тела, и на более глубоких горизонтах следовало ожидать его выклинивания. На седьмом горизонте отсутствовали ореолы свинца и молибдена и гидротермальные изменения пород, характер-

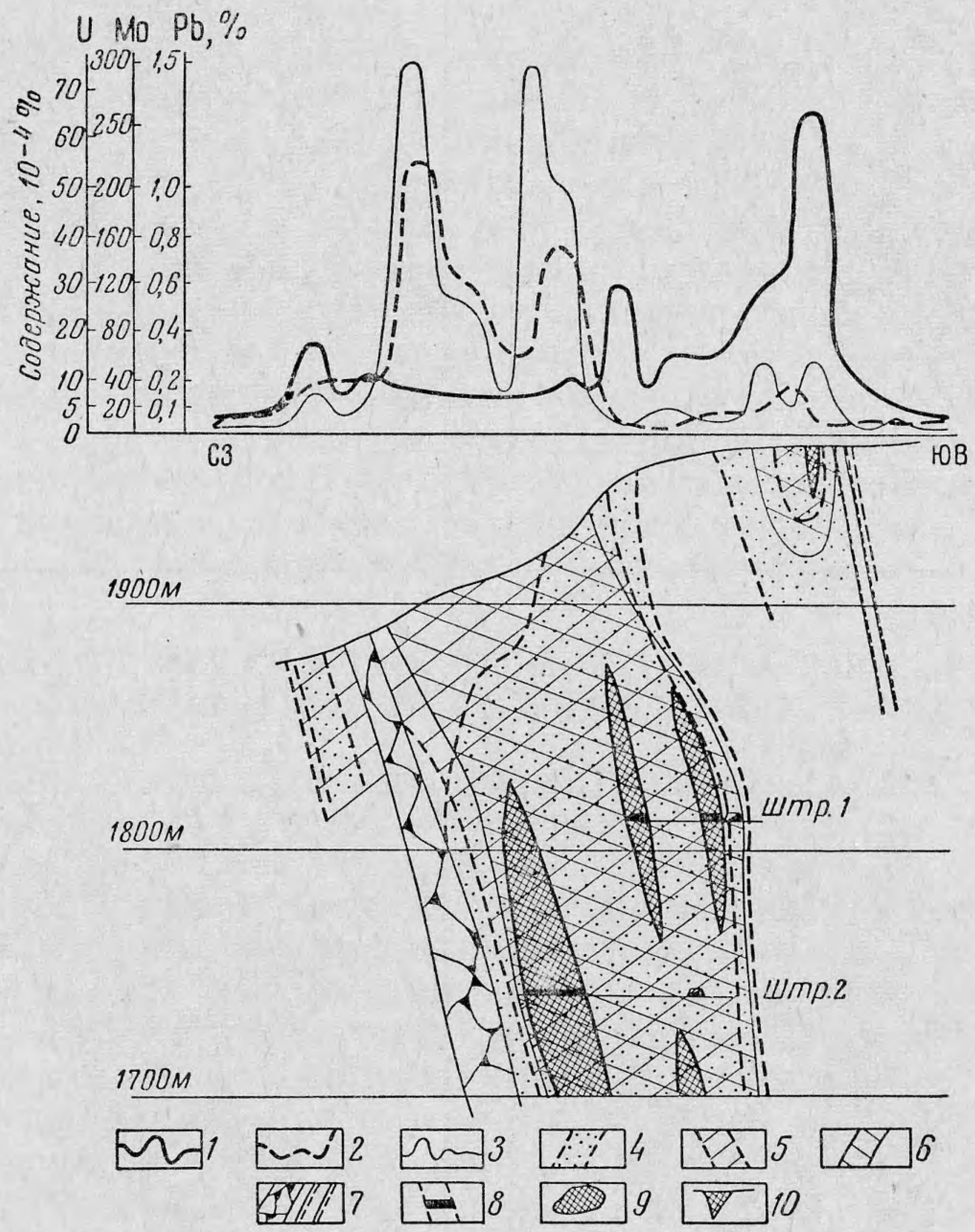


Рис. 51. Разрез ореолов элементов над слепыми рудными телами по линии I—I рис. 50 (по Н. Н. Сочеванову)

Кривые содержаний элементов на поверхности: *1* — урана; *2* — свинца; *3* — молибдена. Поля ореолов рассеяния: *4* — урана; *5* — свинца; *6* — молибдена; *7* — тектонические нарушения; *8* — рудные интервалы, вскрытые горными выработками; *9* — рудные тела скрытые; *10* — рудные тела, вскрытые эрозией

ные для верхних частей рудных тел. В то же время ореол урана около трещинной зоны, вмещающей на более верхних горизонтах месторождения рудное тело, оставался достаточно интенсивным.

Иные результаты были получены при проведении геохимических исследований на тех же горизонтах северо-восточного фланга месторождения. Здесь на шестом горизонте были выявлены широкие и очень интенсивные ореолы урана и свинца (см. рис. 52, 53, зоны «Новые»), а также зоны осветленных, пиритизированных, альбитизированных и покраснелых пород. На этом участке во вмещающих породах, особенно в местах с интенсивным развитием трещин, установлены вкрапленность и прожилки галенита. Таким образом, налицо были все благоприятные признаки, характерные для участков над скрытыми урановыми рудными телами на этом месторождении. Эти признаки

указывали на благоприятные перспективы более глубоких горизонтов данного участка для обнаружения скрытого уранового рудного тела, либо группы их. Разведочные выработки, пройденные на этом участке по седьмому горизонту, действительно вскрыли богатые и протяженные рудные тела.

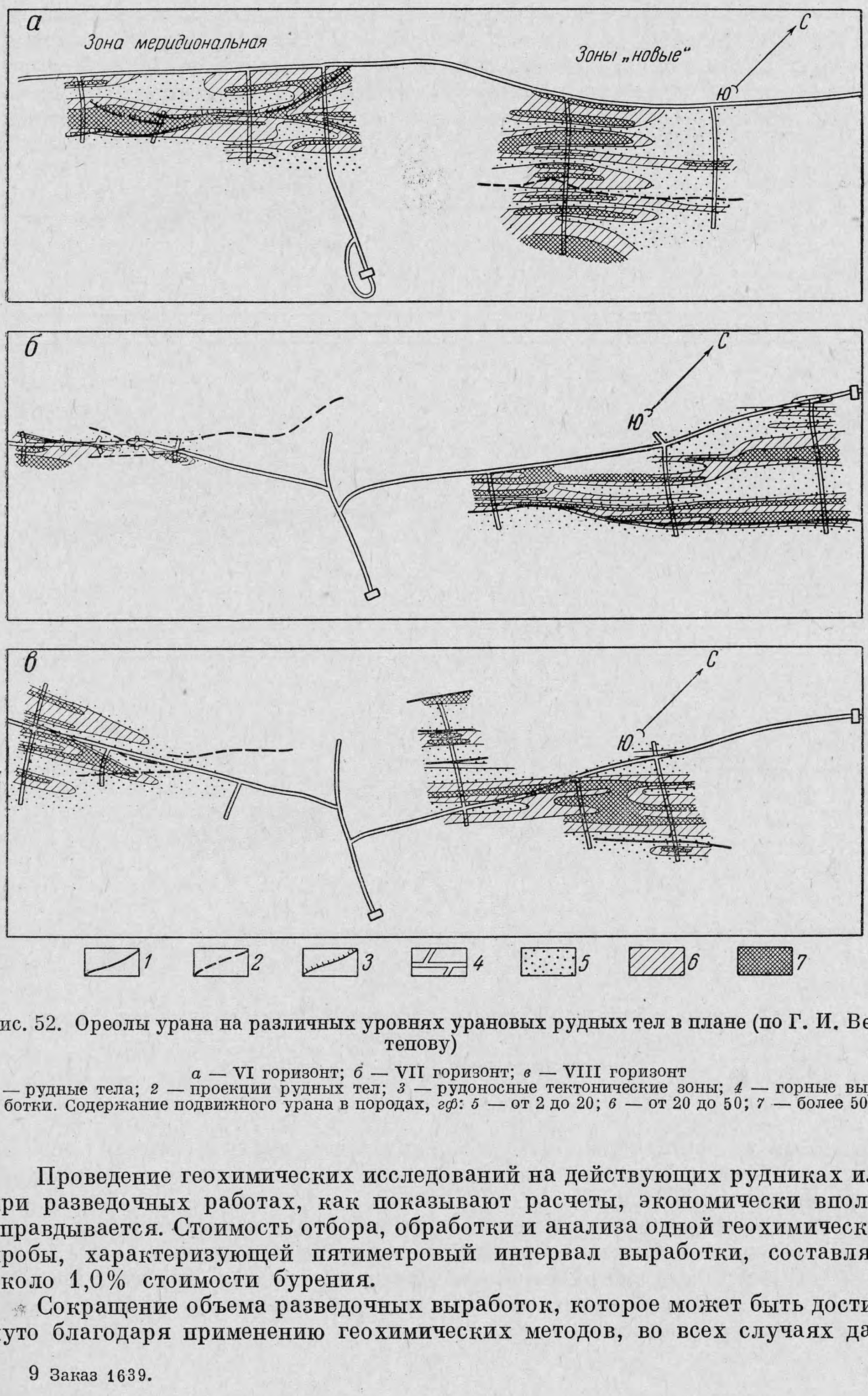


Рис. 52. Ореолы урана на различных уровнях урановых рудных тел в плане (по Г. И. Вертепову)

а — VI горизонт; *б* — VII горизонт; *в* — VIII горизонт
1 — рудные тела; *2* — проекции рудных тел; *3* — рудоносные тектонические зоны; *4* — горные выработки. Содержание подвижного урана в породах, *гф*: *5* — от 2 до 20; *6* — от 20 до 50; *7* — более 50

Проведение геохимических исследований на действующих рудниках или при разведочных работах, как показывают расчеты, экономически вполне оправдывается. Стоимость отбора, обработки и анализа одной геохимической пробы, характеризующей пятиметровый интервал выработки, составляет около 1,0% стоимости бурения.

Сокращение объема разведочных выработок, которое может быть достигнуто благодаря применению геохимических методов, во всех случаях даст

значительную экономию средств. Например, при условии обоснованного сокращения только одного 200-метрового квершлага за этот счет можно отобрать и проанализировать 12—15 тыс. проб, что даст возможность опробовать 50—60 *км* подземных выработок и скважин. Геохимические исследования на месторождениях должны выполняться специальными лицами, вы-

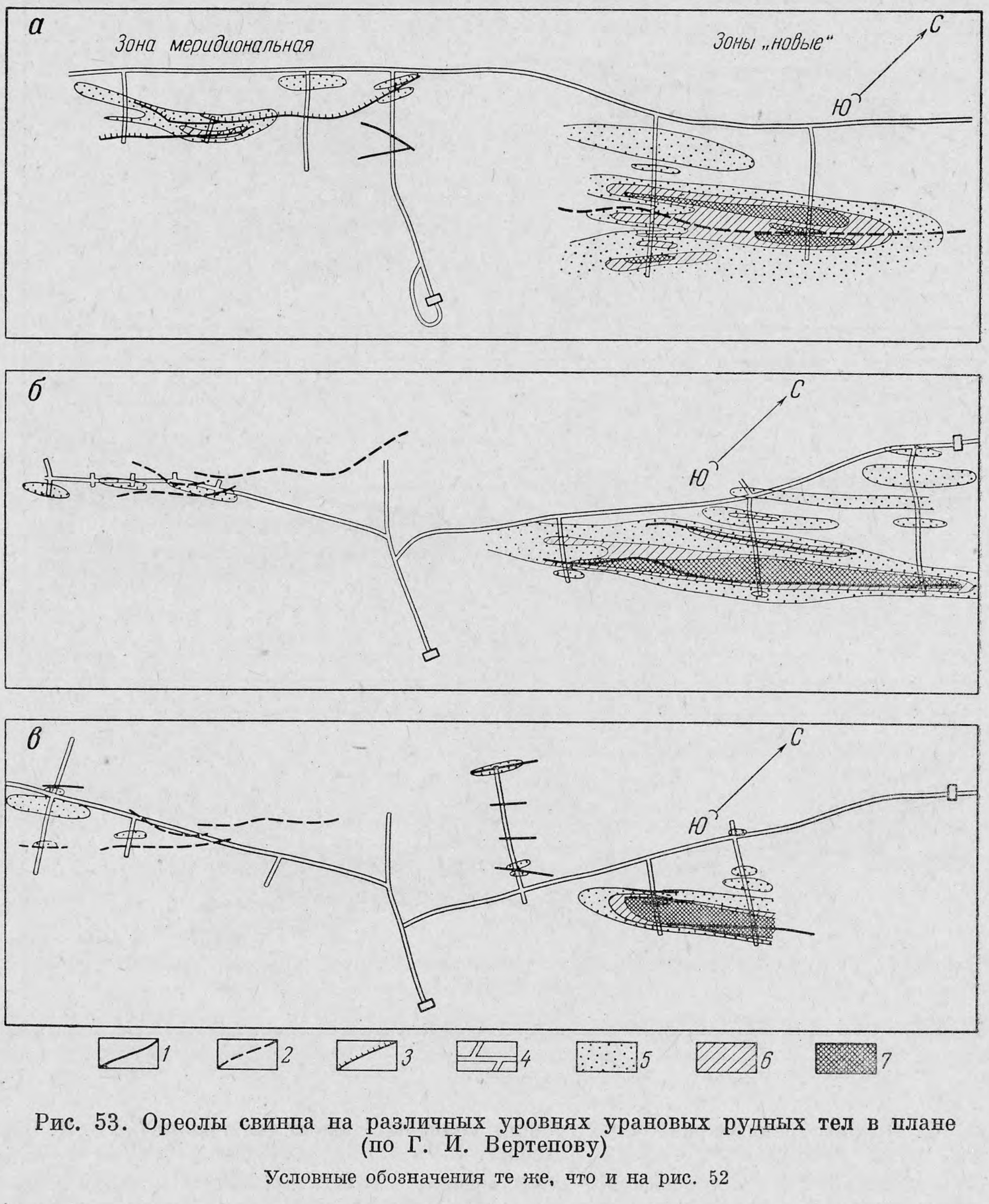


Рис. 53. Ореолы свинца на различных уровнях урановых рудных тел в плане (по Г. И. Вертепову)

Условные обозначения те же, что и на рис. 52

деленными из состава геологов, обслуживающих рудник. Отряд, выполняющий такие исследования, должен включать инженера-геолога, коллектора и двух рабочих-пробщиков.

В заключение следует отметить, что материал, представленный в этой главе, собран в основном на сравнительно простых по генезису «собственно урановых» месторождениях (за исключением примера 4). Для этих месторождений характерно отложение главной массы рудных минералов в смолковую стадию минерализации.

Бóльшие трудности в использовании ореолов элементов представляют площади и участки, где, кроме ураноносной стадии, широко проявились другие стадии минералообразования сходного состава. В таких условиях наряду с параметрами выявленных ореолов решающую роль приобретают детальные структурно-минералогические исследования.

Поиски скрытых рудных тел несомненно труднее, чем поиски выходящих на поверхность рудных тел и сопряжены с бóльшим производственным риском. Поэтому в каждом отдельном случае при интерпретации данных геохимических исследований требуется вдумчивый и творческий подход, а при разведке выделенных перспективных участков — определенная настойчивость, необходимая для достижения конечной цели — обнаружения скрытых рудных тел.

ГЛАВА V

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ ПРИ ОЦЕНКЕ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И УРАНОВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ

При поисках урановых месторождений наиболее широко применяются различные виды гамма-поисков: аэрограмма-поиски, автомобильные, плужные, пешеходные, шпуровые и глубинные гамма-поиски (с применением установок СУГП-10 и вибро-агрегатов СВА-2).

Радиометрическими методами ежегодно выявляют очень большое количество аномалий, лишь незначительная часть которых связана с рудопроявлениями, заслуживающими постановки разведочных работ. Подавляющее большинство аномалий обусловлено мелкими непромышленными проявлениями урановой минерализации. Практика поисково-разведочных работ показала, что в среднем лишь около 1% общего числа выявленных аномалий можно отнести к категории рудопроявлений, и только 3—5% рудопроявлений передаются в детальную разведку.

Размеры радиометрических аномалий и их интенсивность далеко не всегда соответствуют масштабам оруденения. Известны случаи, когда урановые рудные тела и месторождения были обнаружены по сравнительно небольшим (точечным) аномалиям незначительной интенсивности (десятки микрорентген в час), в то время как более интенсивными аномалиями в этом же районе отмечались мелкие непромышленные скопления урана. Поэтому важным этапом поисковых работ является оценка аномалий независимо от их размеров и интенсивности с целью выделения наиболее перспективных, установления очередности их разведки на глубину и отбраковки аномалий, обусловленных непромышленными урановыми проявлениями. К последним относятся: а) испарительные и незначительные инфильтрационные аккумуляции урана; б) глубоко эродированные рудные тела, не имеющие перспектив на глубину; в) гидротермальные урановые рудопроявления незначительных масштабов.

1. ВЫДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ, СВЯЗАННЫХ С ИСПАРИТЕЛЬНЫМИ И ИНФИЛЬТРАЦИОННЫМИ АККУМУЛЯЦИЯМИ УРАНА

В условиях аридных районов выявляются многочисленные гамма-аномалии, которые связаны с приповерхностными вторичными аккумуляциями урана, обусловленными соленакоплением. Это явление освещено работами К. К. Гедройца (1933), В. А. Ковда (1956) и других исследователей. Поскольку такие вторичные аккумуляции образуются в основном за счет процесса испарительной концентрации, А. А. Ковалев (1962) предлагает называть их эвапорационными, или испарительными, отказавшись от термина «инфильтрационно-инсоляционные аккумуляции», предложенного им же ранее.

В грунтовых водах со щелочной реакцией, характерных для аридной зоны, уран обладает высокой миграционной способностью. На урановосных участках и на площадях, сложенных кислыми изверженными породами с высоким содержанием подвижного урана, концентрации его в водах составляют

$n \cdot 10^{-5}$ *г/л* и достигают $n\,(10^{-4}—10^{-3})$ *г/л*. Содержание урана в сухом остатке вод часто достигает $n \cdot 10^{-3}\%$ и более.

В местах, где урановосные грунтовые воды залегают неглубоко, так что зона капиллярного поднятия приближается к поверхности, в результате испарения капиллярных вод происходит выпадение солей. Зона капиллярного поднятия развивается над уровнем грунтовых вод обычно не более чем на десять метров. В условиях южной аридной зоны Советского Союза испарительные процессы прекращаются на глубине 2,7—3,0 *м* от поверхности (Лукашев, 1958), поэтому интенсивное соленакопление происходит в двух-трехметровом приповерхностном слое, при залегании грунтовых вод на глубине до 10 *м*.

Детали генезиса испарительных аккумуляций урана А. А. Ковалев (1962) характеризует следующим образом. В аридных районах основными коллекторами грунтовых вод являются зоны дробления и трещиноватости. Вдоль этих зон формируется современная линейная кора выветривания, при этом из пород зоны дробления выносятся энергично мигрирующие элементы: хлор, сера и фтор, и происходит обогащение их известковистым карбонатом.

Для аридных районов характерны непромывной и выпотной режимы грунтовых вод. При непромывном режиме происходит испарение всех выпадающих осадков, которые не успевают достичь уровня грунтовых вод. При выпотном режиме благодаря капиллярному подъему происходит также испарение дополнительно поступающих с небольшой глубины грунтовых вод. Это приводит к обогащению почв и вмещающих пород легкорастворимыми соединениями, транспортированными водами со стороны.

Источником вод, переносящих растворенные соли, в том числе и соли урана, попадающих в испарительный процесс, могут являться только поверхностные воды или близповерхностная часть грунтовых вод. В первом случае воды растворяют соли урана на участках, прилегающих к зонам трещиноватости, во втором случае возможен перенос урана и на более далекие расстояния.

Уран в водах аридных районов мигрирует в виде уранил-иона (UO_2^{++}) или в виде карбонатного комплекса в зависимости от химического состава вод (сульфатные или карбонатные воды). Испарение вод приводит к выпадению различных компонентов раствора по мере достижения тем или иным соединением состояния пересыщения в сложных условиях многокомпонентного раствора. Выпадение веществ из раствора при испарении происходит в следующей последовательности. Прежде всего (ближе к уровню грунтовых вод) выпадает кремнекислота, затем окислы железа, карбонат кальция, далее гипс и выше сульфаты и хлориды натрия и магния (Перельман, 1961).

Шрекингерит при испарении выпадает между окислами железа и гипсом и образуется за счет повышенных концентраций в водах ионов UO_2^{2+}, SO_4^{2-} и $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$. Второй распространенный минерал испарительных аккумуляций — уранофан, который обычно выпадает на лимонитизированных стенках трещин и ассоциирует с гипсом, может быть образован при повышенных концентрациях в водах иона $Si_2O_7^{6-}$.

А. А. Ковалев (1962) отмечает следующие геологические особенности приповерхностных испарительных аккумуляций урана.

1. Залегают они среди кислых эффузивов, гранитоидов и других пород с повышенным кларком урана и приурочены к зонам дробления, разломов и повышенной трещиноватости, а также к пониженным частям современного рельефа — ложбинам и подножиям склонов небольших возвышенностей. На возвышенностях преобладает выщелачивание, и вторичные аккумуляции, как правило, отсутствуют.

2. Урановое оруденение представлено вторичными минералами урана — шрекингеритом, уранофаном (в ассоциации с лимонитом и гипсом), реже отенитом и торбернитом, иногда казолитом.

3. Вторичные минералы урана располагаются в трещинах, на плоскостях отдельности в виде корочек или налетов, преимущественно на гидроокислах железа. Порошковатые скопления шрекингерита встречаются в дресве гранитов. Максимальные скопления вторичных урановых минералов отмечаются на глубинах 0,2—0,4 *м* при выходе коренных пород на поверхность, т. е. ниже зоны активного выщелачивания, а при наличии перекрывающих лёссовидных суглинков — в коренных породах вблизи суглинков. Эти минералы часто концентрируются на границе с песчанистым материалом, иногда выполняющим понижения и трещины.

4. Вторичные аккумуляции урана имеют отчетливо выраженный приповерхностный характер и образуют тела гнездообразной и лепешкообразной формы, которые имеют мощность от 0,2 до 2 *м* и располагаются параллельно поверхности на глубинах от 0,3 до 2,5 *м*. Площадь таких скоплений варьирует в широких пределах — от десятых долей до сотен квадратных метров.

5. Содержание урана колеблется от сотых долей до 0,3% при коэффициенте радиоактивного равновесия 20—60%, хотя иногда наблюдается сдвиг в сторону избытка радия.

6. Молибден, свинец и другие элементы-спутники урана, характерные для гидротермальных образований, в приповерхностных аккумуляциях в повышенных содержаниях, как правило, отсутствуют.

Наряду с испарительными скоплениями урана в приповерхностной зоне нередко формируются инфильтрационные проявления, обусловленные выпадением урана из грунтовых вод на путях их движения. В хорошо проницаемых осадочных породах инфильтрационные проявления урана достигают значительных масштабов и имеют промышленное значение. В пределах площадей развития изверженных пород промышленные инфильтрационные проявления урана неизвестны, поэтому аномалии, связанные с ними, оцениваются отрицательно.

Инфильтрационные проявления урана могут образовываться при поступлении урансодержащих подземных вод из окислительной обстановки в восстановительную, приводящую к переходу урана из легкорастворимой шестивалентной в труднорастворимую четырехвалентную форму, или при других изменениях гидрохимических условий, уменьшающих растворимость урановых соединений.

Инфильтрационные скопления урана часто приурочены к зонам дробления и трещиноватости, которые являются коллекторами и путями движения подземных вод. Иногда они распространяются на глубину до многих десятков метров. По составу урановой минерализации такие скопления часто аналогичны верхним частям зоны окисления урановых месторождений. В связи с этим отбраковка аномалий, связанных с такими проявлениями по структурным и минералогическим признакам, неоднозначна. Трудности оценки аномалий по геолого-минералогическим признакам усугубляются на площадях с плохой обнаженностью.

В районах гумидной зоны повышенной активностью часто характеризуются лимонитизированные зоны в гранитах. Урановые минералы в таких проявлениях, как правило, не отмечаются, а повышенные содержания урана до 0,1—0,2% характерны для гидроокислов железа. Происхождение таких концентраций урана объясняется выносом его из гранитов с последующей сорбцией урансодержащих соединений (по-видимому, в форме коллоидов или анионов) гидроокислами железа.

Как показал опыт работ, испарительные и инфильтрационные проявления урана обычно характеризуются низкими — фоновыми — концентрациями элементов, сопутствующих урану в рудах и ореолах рассеяния гидротермальных месторождений. Это объясняется особенностью водной миграции элементов, обычно сопровождающих гидротермальное урановое оруденение.

Медь, цинк и свинец по сравнению с ураном малоподвижны в щелочной среде (Перельман, 1961), поэтому в аридной зоне ореолы этих элементов,

связанные с урановыми месторождениями, сравнительно хорошо сохраняются. Концентрации их в водах обычно незначительны — n (10^{-5} — 10^{-7}) *г/л*, поэтому при испарении содержание этих элементов в массе выпадающих солей обычно не превышает их кларков в породах. В инфильтрационных урановых проявлениях эти элементы, как правило, также не образуют аномальных концентраций.

Условия миграции мышьяка в ландшафте аридной зоны изучены недостаточно. Имеющиеся к настоящему времени материалы свидетельствуют об отсутствии испарительных аккумуляций мышьяка. Это дает основание полагать, что его повышенные концентрации на участке радиоактивной аномалии могут рассматриваться как положительный геохимический признак, свидетельствующий о наличии гидротермального привноса.

Из элементов, сопутствующих урану в гидротермальных месторождениях, наиболее сходными с ураном геохимическими свойствами в зоне гипергенеза обладает молибден. Как указывает А. И. Перельман (1961), в аридном ландшафте преобладают соединения шестивалентного молибдена (производные молибденовой кислоты H_2MoO_4), обладающие сравнительно хорошей растворимостью в щелочной среде. В водах аридной зоны содержание молибдена составляет n (10^{-6}—10^{-5}) *г/л*, а при испарительной концентрации достигают $n \cdot 10^{-3}$ *г/л*. В связи с этим в некоторых районах этой зоны молибден ассоциирует с ураном в приповерхностных скоплениях. Содержания его в этих случаях достигают $n \cdot 10^{-2}$ %, что в десятки и сотни раз выше кларка молибдена в породах.

Повышенные концентрации молибдена обнаруживаются также в некоторых урановых проявлениях инфильтрационного происхождения. Объясняется это, очевидно, тем, что инфильтрационные аккумуляции формировались в восстановительной среде, где подвижность молибдена уменьшается, и он, подобно урану, выпадает из раствора. Однако совместное присутствие урана и молибдена в испарительных и инфильтрационных скоплениях характерно далеко не для всех районов аридной зоны.

Пример 1. В прилож. 6 (лист 19) приведены графики содержаний урана, свинца и молибдена в элювиально-делювиальных отложениях на двух гамма-аномалиях. Одна из них связана с гидротермальным урановым рудопроявлением, другая — с инфильтрационным проявлением урановой минерализации в приповерхностной части коренных пород. Аномалии находятся в 400 *м* друг от друга и приурочены к зонам дробления и трещиноватости, секущим кислые эффузивы (фельзит-порфиры, кварцевые порфиры). По геологической позиции, размерам и радиоактивности эти участки аналогичны, но резко отличаются по содержанию свинца в элювиально-делювиальных отложениях. Участок гидротермального уранового рудопроявления характеризуется наличием ореола рассеяния свинца с содержанием до 0,1—0,2% (30—60 *гф*). На участке, где проявлена инфильтрационная урановая минерализация, содержание свинца не выходит за пределы колебаний геохимического фона.

Пример 2. В другом рудном районе, характеризующемся полупустынным ландшафтом, молибден является основным спутником урана в рудных телах и ореолах рассеяния, но в типичных для этого района испарительных скоплениях урана молибден присутствует либо в фоновых концентрациях, либо проявляется небольшими аномалиями, обычно до 2—5 *гф*. Причины различного поведения урана и молибдена в ландшафте этого района не изучены, однако указанная эмпирическая закономерность с успехом используется при оценке радиометрических аномалий.

Характер вторичных ореолов над скрытым рудным телом (прилож. 6, лист 9), корнями рудного тела и приповерхностным испарительным скоплением урана (прилож. 6, лист 10) показывает их резкие различия по содержаниям и отношениям продуктивностей ореолов. Канава 156, в борту которой содержание урана свыше 0,1%, характеризуется околофоновыми содержаниями свинца и молибдена.

Радиометрические поиски проводятся в этом районе с помощью плужной и пешеходной гамма-съемок. Оценка выявленных аномалий осуществляется путем опробования элювиально-делювиальных отложений на сопутствующие урану элементы — молибден, свинец. Гамма-аномалии даже небольшой интенсивности, с которыми пространственно совпадают аномалии молибдена и свинца или только молибдена, выделяются как перспективные, и в случае благоприятной геологической обстановки проверяются на глубину буровыми скважинами. Поскольку в этом районе надежно установлена связь гидротермального уранового оруденения с молибденом и свинцом, гамма-аномалии, на которых повышенных содержаний сопутствующих урану элементов не отмечается, оцениваются отрицательно.

Пример 3. Урановое рудопроявление расположено в районе развития мелкосопочника. Вмещающими породами участка являются кислые эффузивы и их туфы, прорванные дайками порфиритов. Наряду с зонами гидротермально измененных пород (гематитизация, осветление), к которым приурочены ураноносные рудные зоны (прилож. 6, лист 20, профиль 10) и которые отмечаются ореолами урана, свинца и молибдена, на участке выявлены приповерхностные скопления урана. Генетически они, вероятно, связаны с инфильтрацией, так как максимумы урана расположены над тектоническими зонами (прилож. 6, лист. 20, профиль 5). Содержания свинца и молибдена по этому профилю колеблются в пределах фона.

* * *

Геохимическое опробование целесообразно производить на всех радиоактивных аномалиях независимо от того, каким радиометрическим методом они выявлены. Однако на методику опробования влияет то обнаружена ли аномалия с поверхности, в шпурах или скважинах.

В тех случаях, когда аномалию обнаруживают с поверхности пешеходной или автогамма-съемкой, геохимическое опробование производят попутно при ее оконтуривании гамма-съемкой. Рыхлые отложения опробуют по профилям, проходящим вкрест простирания ураноносных зон или длинной оси радиометрической аномалии.

Многообразие геологических и ландшафтных условий, в которых могут находиться аномалии, а также размеров, формы аномалий, их интенсивности и изменчивости гамма-поля, исключают возможность строгой регламентации объемов геохимического опробования, проводимого с целью оценки аномалий. Количество профилей, их длину и сеть отбора проб выбирают в зависимости от размеров аномалии и сложности геологического строения участка. При этом необходимо выполнять следующие минимальные требования:

1) профили геохимического опробования должны проходить через максимумы гамма-активности;

2) при сложном геологическом строении аномального участка профили следует располагать так, чтобы охарактеризовать участки аномалии, находящиеся в различных геологических условиях;

3) для установления геохимического фона урана и сопутствующих ему элементов концы профилей должны выходить за пределы аномалии и участка измененных пород минимум на 100 *м*.

Накопленный к настоящему времени опыт показывает, что для предварительной оценки аномалий с целью отбраковки испарительных и инфильтрационных приповерхностных скоплений нет оснований проводить площадное опробование. Можно ограничиться опробованием рыхлых отложений по трем—пяти профилям, расположенным через 20—50—100 *м*, с расстоянием между точками отбора проб 10—20 *м*. На участке, где профиль пересекает максимум гамма-аномалии, шаг отбора может быть уменьшен до 5 *м*. В связи с тем что подавляющее большинство аномалий, выявленных гамма-поисками, имеют незначительные размеры, объем опробования элювио-делювиаль-

ных отложений на отдельной аномалии ограничивается в среднем 30—50 пробами, хотя на отдельных крупных аномалиях, приуроченных к участкам со сложным геологическим строением, возможен отбор 100—200 проб и более.

Опробование коренных пород проводят в тех случаях, когда аномалия приурочена к обнаженным участкам или имеются горные выработки, вскрывающие коренные породы с повышенной гамма-активностью.

При оценке аномалий, выявленных в шпурах, закопушках и плужных бороздах, опробуют рыхлые отложения или кору выветривания на том горизонте, где установлена повышенная активность. Выбор количества профилей и их расположение определяются теми же требованиями, что и в случае оценки аномалий, установленных с поверхности. На аномалиях, выявленных в шпурах, пройденных агрегатами СУГП-10 или СВА-2, опробуют представительный горизонт, в котором отмечаются гамма-аномалии.

На этапе поискового бурения в масштабе 1 : 25 000 и мельче можно ограничиться опробованием тех скважин, в которых обнаружена повышенная гамма-активность. При проведении детализации с целью оконтуривания аномалии, помимо скважин с повышенной активностью, следует опробовать скважины, находящиеся на периферии аномального участка — для оценки геохимического фона, а также потому, что ореолы рассеяния элементов-спутников могут иметь большие размеры рассеяния, чем ореолы урана и радия.

При оценке с помощью геохимического опробования эманационных аномалий следует учитывать, что источником эманации могут быть ореолы рассеяния от эндогенных образований, а также экзогенные скопления и зоны с повышенным эманированием, фиксируемые на горизонте отбора эманационных проб за счет развивающихся вверх диффузионных ореолов радона.

Поэтому при геохимическом опробовании эманационных аномалий взятие проб с поверхности может быть неправильным и привести к ложным выводам. В этом случае первой задачей является установление представительного горизонта для опробования, в пределах которого отмечается наиболее высокая гамма-активность. Повышенные содержания элементов-спутников на горизонте с повышенной гамма-активностью свидетельствуют о наличии в пределах участка гидротермального привноса, что следует рассматривать как положительный признак, повышающий перспективность данной эманационной аномалии.

Отсутствие элементов-спутников при наличии урана является признаком неблагоприятным, свидетельствующим о том, что причиной эманационной аномалии является, вероятно, вторичная аккумуляция урана. Отсутствие в пределах представительного горизонта радоновой аномалии, повышенных содержаний и урана и элементов-спутников указывает на то, что гамма-активность обусловлена продуктами распада радона и может быть связана с повышенным эманированием пород или отложением радия из вод.

Несмотря на то что геохимическое опробование элювио-делювиальных отложений и коренных пород при оценке аномалий систематически проводится только последние годы, в отдельных районах уже имеются положительные практические результаты.

Пример 4. На рис. 54 приведены данные, характеризующие эффективность использования элементов-спутников для оценки радиометрических аномалий в одном из районов аридной зоны. На площади 12 $км^2$ в пределах крупного рудного поля были проведены плужные гамма-поиски и металлометрическое опробование элювиально-делювиальных отложений. При этом выявлено 128 гамма-аномалий и 40 аномалий молибдена и свинца. Совпадение гамма-аномалий с участками повышенных концентраций элементов-спутников в элювиально-делювиальных отложениях отмечено в 20 случаях. 108 гамма-аномалий, не сопровождающихся ни молибденом, ни свинцом,

отбракованы как неперспективные приповерхностные проявления урановой минерализации. 20 аномалий свинца и молибдена, где не установлено повышенной гамма-активности, также рассматриваются как неперспективные, обусловленные мелкими проявлениями полиметаллической минерализации.

Из 20 гамма-аномалий, сопровождающихся повышенными концентрациями молибдена и свинца, 4 аномалии забракованы по геологическим

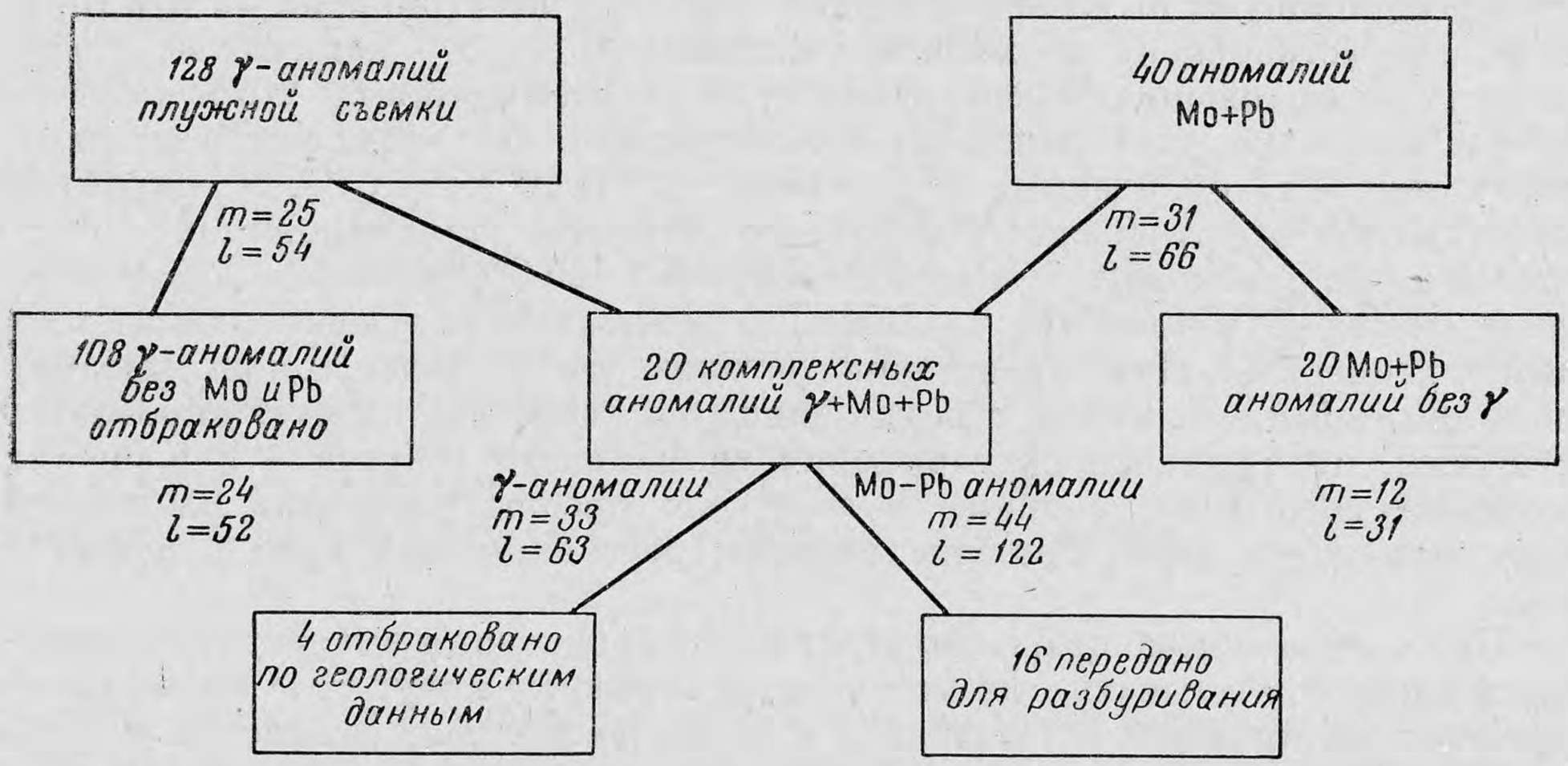


Рис. 54. Комплексные поиски площадной гамма-съемкой и металлометрией на 12 $км^2$ рудного поля (составил Н. Н. Сочеванов по материалам М. Я. Дара и В. С. Голиусова)

m — средняя ширина ореола, $м$; l — средняя длина ореола, $м$

признакам (геолого-структурная обстановка не давала оснований ожидать промышленных рудных тел), а 16 проверено бурением. В результате проведенных буровых работ в восьми случаях на глубине обнаружены урановые руды с промышленными содержаниями, в двух случаях вскрыты зоны с забалансовыми содержаниями урана, в трех случаях получены отрицательные результаты, на трех аномалиях разведка еще не завершена.

Следует отметить, что ореолы рассеяния молибдена и свинца, связанные со скрытыми урановыми рудными телами, залегающими на глубинах до 40—60 *м*, имеют значительные размеры: средняя ширина их составляет 44 *м*, средняя длина 122 *м*, в то время как аномалии этих элементов, связанные с безурановыми полиметаллическими проявлениями, имеют незначительные средние ширину (12 *м*) и длину (31 *м*).

Ошибки при интерпретации гамма-аномалий могут возникнуть в случае пространственного совпадения приповерхностных скоплений урана с участком полиметаллической минерализации. В этом случае на поверхности коренных пород и в перекрывающих делювиальных отложениях будут установлены повышенные содержания урана и ряда других рудных элементов, характерных для гидротермального привноса, и только проходка шурфов или скважин покажет неперспективность аномалии.

Приведенные факты убедительно доказывают важную роль геохимического опробования при оценке радиометрических аномалий. Применение этого метода позволяет отбраковать не представляющие интереса испарительные и инфильтрационные проявления урана, которыми в отдельных районах обусловлено свыше 85% общего числа выявляемых аномалий, что значительно сокращает объем горнобуровых работ и позволяет сконцентрировать их на наиболее перспективных аномалиях.

2. ОЦЕНКА РУДОПРОЯВЛЕНИЙ

К урановым рудопроявлениям, по определению В. И. Красникова (1959), относятся такие проявления урановой минерализации, для которых доказано наличие урановых руд, но не выявлено рудных скоплений, отвечающих минимальным требованиям промышленности к отрабатываемым рудным телам.

Целью оценки рудопроявлений является выяснение их промышленного значения, что главным образом определяется количеством и размерами рудных тел и средним содержанием в них урана. Эта задача решается комплексом геологических методов с применением горных и буровых работ.

Геохимическое опробование применяется на стадии предварительной разведки в качестве одного из вспомогательных методов при определении перспективности на глубину выходящих на поверхность рудных тел, установлении вероятных размеров рудных тел по простиранию и для выявления участков, перспективных в отношении скрытых рудных тел.

Основанием для применения геохимических методов при решении этих вопросов являются изложенные в главах II и III закономерности в распределении урана и сопутствующих ему элементов в рудных телах, первичных и вторичных ореолах рассеяния на урановых месторождениях, а именно: вертикальная зональность в распределении элементов, прямая зависимость между размерами рудных тел и связанных с ними ореолов рассеяния, наличие надрудных ореолов урана и сопутствующих ему элементов, распространяющихся на десятки и первые сотни метров по восстанию выше скрытых рудных тел.

Опыт работ на многих месторождениях и рудопроявлениях показал, что для ускорения и уменьшения объема работ геохимическое опробование с целью оценки рудопроявлений целесообразно проводить в два этапа.

На первом (предварительном) этапе опробование проводят с целью установления элементного состава ореолов, выяснения соотношения содержаний элементов и относительных размеров ореолов рассеяния урана и элементов-спутников для определения перспективности рудопроявления на глубину.

Работы на втором (детальном) этапе проводят на рудопроявлениях, где по данным предварительного опробования выявлены ореолы рассеяния, свидетельствующие о перспективности на глубину выходящих на поверхность рудных тел, а также в тех случаях, когда структурные и минералогические признаки в сочетании с результатами геохимического опробования первого этапа указали на перспективы обнаружения скрытых рудных тел.

Объемы работ на первом этапе определяются протяженностью урановосных зон, шириной зоны измененных пород и сложностью геологического строения участка. На первом этапе достаточно опробовать на глубине представительного горизонта современные элювиально-делювиальные образования или кору выветривания по трем-пяти профилям, пересекающим зону, в которой проявлено урановое оруденение. Длину профилей выбирают с таким расчетом, чтобы выйти в неизмененные породы. Если на рудопроявлении пройдены подземные горные выработки или колонковые скважины, то необходимо провести опробование выработок или керна скважин, пересекающих урановосную зону на глубине. Как показал опыт работ, предварительное опробование на одном рудопроявлении ограничивается отбором в среднем 100—150 проб элювиально-делювиальных отложений и 30—40 проб коренных пород.

В одном из высокогорных районов отряд, состоящий из геолога, коллектора и трех рабочих, используя конный транспорт, за два месяца провел радиометрические работы и геохимическое опробование на 10 рудопроявлениях, отбирая по 100—300 проб на каждом и периодически — два раза в месяц — отправляя пробы в лабораторию.

Опытными работами на известных месторождениях этого района была выявлена вертикальная зональность в распределении урана, свинца и молибдена в первичных ореолах, позволяющая по отношению содержаний и раз-

меров ореолов на поверхности различать: участки со скрытыми рудными телами, рудопроявления, рудные тела которых эродированы в верхней и средней частях, и глубоко эродированные рудопроявления, на которых вскрыты корни рудных тел.

В результате предварительных исследований 70% рудопроявлений по геохимическим признакам (отсутствие ореолов сопутствующих элементов) было оценено отрицательно и лишь 30%, на которых кроме ореолов урана обнаружены интенсивные ореолы свинца и молибдена, были выделены для детальных исследований второго этапа, которые и были проведены в этом же полевом сезоне.

Приведем некоторые примеры практической оценки рудопроявлений с помощью геохимических методов.

Пример 5 (участок № 1). Рудопроявление приурочено к крутопадающей зоне дробления в туфах фельзит-порфиров (прилож. 6, лист 18). Повышенной активностью до 600 *мкр/час* обладают дробленые интенсивно серицитизированные породы, содержащие вторичную урановую минерализацию — отенит, уранофан. Рыхлые отложения на участке представлены элювиально-делювиальными образованиями мощностью до 1 *м*. Урановосная зона исследовалась на глубину буровыми скважинами. Одновременно с разведкой было проведено опробование рыхлых отложений по пяти профилям, отобрано 120 проб.

В результате опробования установлены пространственно совмещенные ореолы рассеяния урана и молибдена, но не обнаружено ореолов свинца. Такая геохимическая характеристика в данном районе типична для корней рудных тел, в связи с чем по геохимическим признакам участок получил отрицательную оценку. Она подтвердилась буровыми работами, которыми установлено уменьшение содержания урана и масштабов урановой минерализации с глубиной.

Пример 6 (участок № 10). Рудопроявление, обнаруженное радиометрическими поисками, приурочено к крутопадающей зоне дробления в гранит-порфирах (рис. 55). Мощность зоны колеблется от 20—30 *см* до 5—8 *м*, по простиранию она прослежена более чем на 350 *м*. Повышенная активность от 300—1000 *мкр/час* отмечается на центральном 100-метровом участке зоны, где проявлена урановая минерализация, представленная чернями, сульфатами урана и реликтами урановой смолки. На отдельных участках содержания урана достигают промышленных концентраций. Урановое оруденение сопровождается покраснением пород и редкой вкрапленностью сульфидов (пирита, халькопирита, сфалерита и галенита). Результаты геолого-минералогического и радиометрического изучения послужили основанием для положительной оценки рудопроявления и разведки его подземными горными выработками.

Геохимическим опробованием коренных пород, проведенным на поверхности, установлены повышенные концентрации урана, ореолы которого четко оконтуривают выявленную рудоносную зону. Содержание свинца не превышает 3 *гф*. Молибден, цинк и серебро отмечаются в повышенных содержаниях (до 2—3 *гф*) лишь в отдельных пробах, в стороне от рудоносной зоны.

Эти данные, с учетом установленных для района закономерностей, свидетельствуют о глубокой эрозии рудных тел и о неперспективности рудопроявления на глубину. Разведка рудопроявления штольней подтвердила правильность отрицательной оценки — рудных тел на глубине не обнаружено.

* * *

Целью работ второго этапа является получение данных о вероятных размерах рудных тел, вскрытых эрозией, и выявление возможных скрытых рудных тел, расположенных на площади участка. Для этого на рудопроявлении производят площадное опробование элювиально-делювиальных отложений на представительном горизонте в масштабах 1 : 10 000—1 : 5000, а иногда,

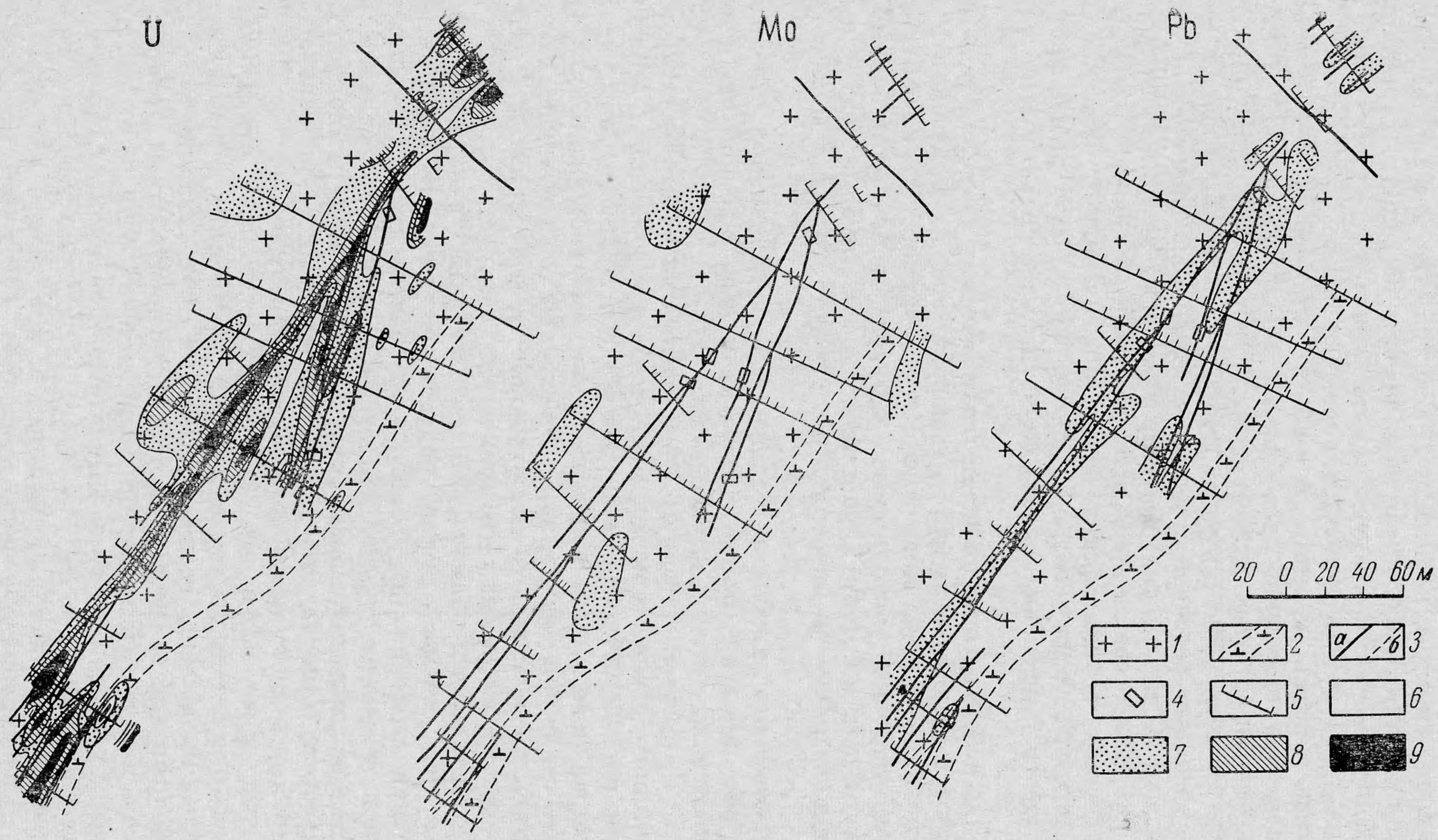


Рис. 55. Ореолы в коренных породах на площади одного из урановых рудопроявлений (по М. В. Кутенкову)

1 — гранит-порфиры; *2* — дайки диабазовых порфиритов; *3* — тектонические нарушения: *а* — прослеженные; *б* — предполагаемые; *4* — шурфы; *5* — профили опробования. Концентрации элементов, *гф*: *6* — менее 2; *7* — уран и молибден от 2 до 5, свинец от 2 до 3; *8* — уран от 5 до 20; *9* — уран более 20

при небольших размерах ореолов, и крупнее. Размеры участка и сеть опробования определяются протяженностью урановосных зон и шириной зон гидротермального изменения пород.

Кроме участков, на которых установлено урановое оруденение, опробование проводят на прилегающей площади, где по геологическим данным возможно наличие скрытых рудных тел. Участки, где при прочих равных условиях проявляются наиболее крупные ореолы рассеяния, характеризующиеся наиболее высокими концентрациями урана и сопутствующих ему элементов, следует считать наиболее перспективными.

Из этого положения, конечно, не следует, что небольшие по простиранию и слабые геохимические аномалии не имеют перспектив. В случае глубокого залегания скрытых рудных тел или при неблагоприятных условиях развития ореолов даже крупные рудные тела на поверхности могут проявляться ореолами рассеяния, незначительными по размерам и содержаниям элементов. Однако в силу того что количество мелких рудопроявлений в сотни раз больше числа промышленных месторождений, подавляющее большинство таких геохимических аномалий, очевидно, будет связано с урановыми проявлениями небольших масштабов, и обнаружение промышленного уранового оруденения в таких случаях имеет сравнительно малую вероятность.

При оценке небольших по площади геохимических аномалий решающее значение имеют сочетание структурно-минералогических признаков и геологическая позиция аномального участка. Например, даже небольшую геохимическую аномалию, находящуюся в рудном поле с неглубоким эрозионным срезом, для которого характерны скрытые рудные тела, следует оценивать положительно и проверять на глубину горными и буровыми работами.

Кроме площадного опробования элювиально-делювиальных отложений, на втором этапе опробуют горные выработки и керн скважин для оценки блоков, заключенных между выработками.

Пример 7. Примером повторного возвращения на участок для проведения работ второго этапа является одно из рудопроявлений, описанное в главе IV (см. рис. 50, 51). Отрицательная геохимическая оценка известных прослеженных на поверхности рудоносных зон, казалось, позволяла ограничиться работами первого этапа, но выявленные на северо-западных концах профилей интенсивные свинцово-молибденовые ореолы привели к необходимости проведения площадных геохимических поисков.

Следует отметить, что наличие ореолов рассеяния урана и его элементов-спутников даже весьма большой продуктивности еще не является однозначным признаком проявления уранового оруденения крупных масштабов. Ореолы рассеяния свинца, цинка, молибдена и урана значительной продуктивности могут характеризовать участки проявления разностадийных полиметаллического (иногда промышленных масштабов) и наложенного на него непромышленного уранового оруденения (прилож. 6, лист 22). Оценка геохимических аномалий, связанных с такими проявлениями, возможна лишь при детальном геохимическом опробовании коренных пород.

Признаками проявления нескольких стадий минерализации могут быть закономерное различие элементного состава разновозрастных трещин, зон дробления и их жильного выполнения. Для решения вопроса о том, существует ли между ураном и другими элементами — свинцом, цинком, молибденом — парагенетическая связь или имеет место лишь пространственное совпадение разных стадий полиметаллической и урановой минерализаций, помимо структурно-минералогических признаков, могут быть использованы характерные отличия элементов-примесей в галенитах и пиритах урановых и полиметаллических месторождений. Изучение более 200 образцов минеральных фракций с 20 урановых и полиметаллических месторождений позволяет выделить две группы элементов-примесей (Ворошилов, Михайлова, 1960).

1. Элементы-примеси, отмечаемые примерно в одинаковых концентрациях в данном минерале как на полиметаллических, так и на урановых месторождениях. К ним относятся: медь, свинец, цинк и мышьяк в пиритах и медь, сурьма, мышьяк, серебро, висмут, цинк, кадмий и марганец в галенитах; эти элементы-примеси названы нами «сквозными». Большинство из них являются типичными элементами гидротермального процесса и присутствуют в рудах мезотермальных месторождений различных формаций (см. рис. 1).

2. Специфические элементы-примеси, содержащиеся в повышенных концентрациях в пиритах и галенитах только урановых месторождений и не обнаруженные спектральным анализом в этих же минералах из полиметаллических месторождений. К ним относятся уран, молибден, цирконий, бериллий, ванадий и титан. Следует отметить, что эти же элементы-примеси характерны также для настуранов изученных гидротермальных месторождений урана.

Данные о содержании элементов-примесей в настуранах, галенитах и пиритах приведены в табл. 26. (Более детальные данные для галенитов части месторождений приведены в табл. 5.) Максимальные содержания специфических элементов-примесей в минералах отмечаются в рудных телах и в ореолах вблизи рудных тел. К периферической части ореолов содержание этих элементов в галенитах и пиритах уменьшается. Содержание в галенитах и пиритах сквозных элементов остается примерно постоянным и не зависит от того, где отобраны анализируемые минералы — в надрудных горизонтах или вблизи урановых рудных тел.

Исключением является цинк, содержание которого

Таблица 26

Содержание элементов-примесей в минералах (по Н. А. Ворошилову)

Содержания элементов в минералах, %

Минерал	Количество месторождений	U	Ti	Zr	Be	Mo	V	Y	Yв
Настуран	5	Основной элемент	0,01—0,1	0,003—0,01	0,001—0,01	0,001—0,01	0,01—0,1	0,01	0,01
Галенит урановых месторождений	8	0,001—1,2	До 0,1	До 0,03	0,001—0,01	До 0,01	До 0,1	Не обн.	Не обн.
Галенит полиметаллических и других месторождений	10	Не обн.	До 0,01	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Пирит урановых месторождений	6	0,002—1,6	До 0,1	До 0,01	До 0,01	0,001—0,01	До 0,01	До 0,01	До 0,1
Пирит с полиметаллических и других месторождений	12	Не обн.	До 0,01	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Чувствительность анализа, %		0,0003	0,01	0,003	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01

в галенитах уменьшается по мере приближения к урановому рудному телу (0,03—1% —надрудные горизонты; 0,01—0,1% — на горизонте балансовых руд —см. табл. 6). В связи с этим отношение содержания урана к содержанию цинка в галенитах очень мало (0,001—0,03) в надрудных горизонтах над скрытыми урановыми рудными телами и увеличивается до величины 1—100 в пределах рудных горизонтов. Данные об ураново-цинковом отношении приведены лишь в качестве иллюстрации того положения, что при изучении элементов-примесей в минералах представляют интерес не только абсолютные содержания их, но также и величины отношений содержаний между отдельными элементами-примесями. Возможно, что для разных месторождений объектом изучения на элементы-примеси, кроме сульфидов, могут быть и другие распространенные минералы — флюорит, карбонат и др.

Специфика состава элементов-примесей в пиритах и галенитах урановых месторождений может быть использована как один из дополнительных критериев выделения перспективных ореолов, связанных с возможными скрытыми или слабо эродированными урановыми рудными телами. Повышенные концентрации в пиритах и галенитах урана, титана, циркония, бериллия, молибдена и ванадия являются свидетельством того, что исследованные минералы, вероятно, принадлежат урановой стадии, и рассматриваемый ореол является перспективным.

Учитывая, что существуют промышленные гидротермальные месторождения, на которых, кроме урановой, проявилась и полиметаллическая стадия минерализации и соответственно присутствуют сульфиды разных генераций, результаты анализа отдельных проб минералов не могут служить основанием для оценки всего участка, а являются одним из признаков для оценки лишь той зоны (трещины), из которой отобраны образцы. Поэтому исследование элементов-примесей в минералах целесообразно проводить лишь при тщательном геолого-геохимическом изучении рудопроявления и отборе минералогических проб из зон и трещин, различающихся по возрасту, направлению и составу.

В заключение отметим, что оценка урановых рудопроявлений — сложная задача, которая часто не решается однозначно даже при затратах значительных объемов горно-буровых работ. Имеется большое число рудопроявлений, на которых разведка прекращена, хотя и не доказана их бесперспективность. На таких рудопроявлениях целесообразно проведение геохимического опробования, которое потребует затраты сравнительно небольших средств, но может оказать существенную помощь при выделении наиболее перспективных из них и определении направления первоочередных разведочных работ.

Геохимические исследования в первую очередь следует провести на рудопроявлениях, находящихся в освоенных промышленностью рудных районах.

ГЛАВА VI

РОЛЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В КОМПЛЕКСЕ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Вопросы рационального комплексирования поисковых методов с целью повышения надежности опоискования перспективных на уран территорий для различных геологических регионов и физико-географических зон решаются с бóльшим или меньшим успехом. Ведущими методами по-прежнему остаются различные модификации поисковой радиометрии, применяемой в больших объемах. Геохимические методы поисков урана с использованием элементов-спутников применяются еще в ограниченных масштабах.

Причиной ограниченного использования при поисках ореолов элементов-спутников является новизна рассматриваемой проблемы и в связи с этим незавершенность исследований, а также отсутствие опубликованных данных об эффективности геохимических методов и их возможностях в решении определенных геологических задач.

В настоящей главе рассматривается применение геохимических методов с использованием элементов-спутников урана в комплексе с другими методами на различных этапах поисковых работ в разных геоморфологических и ландшафтно-климатических условиях.

По условиям проведения геохимических поисков всю территорию, на которой проводятся поисковые работы, можно разделить на четыре группы:

а) высокогорные районы с резко расчлененным рельефом любых климатических зон и среднегорные районы аридной климатической зоны;

б) среднегорные районы гумидной зоны;

в) пенепленизированные районы аридной зоны;

г) пенепленизированные районы гумидной зоны. *

1. ПОИСКИ В ВЫСОКОГОРНЫХ РАЙОНАХ С РЕЗКО РАСЧЛЕНЕННЫМ РЕЛЬЕФОМ

Как отмечалось выше, к этой группе относятся высокогорные районы любых климатических зон, а также среднегорные районы аридной области. Общим для них является преобладание эрозионно-денудационных процессов над процессами окисления и механического рассеяния над аккумуляциями во вторичных ореолах и потоках рассеяния.

Отправными положениями для поисков в этих областях служат установленные на ближайших месторождениях или рудных полях геологические и геохимические поисковые признаки, использование которых на новых площадях, характеризующихся сходной геологоструктурной и ландшафтно-геохимической обстановкой, является вполне правомерным.

Данные районы характеризуются неравномерной, хотя в общем и высокой степенью обнаженности. Закрытые участки различаются по составу

---

* Опыт проведения геохимических работ в условиях четвертой группы отсутствует, и такие работы не рассматриваются.

и мощности покровных образований. Не давая подробную характеристику встречающихся здесь генетических типов рыхлых отложений, отметим лишь те из них, которые оказывают непосредственное влияние на методику и геологическое истолкование результатов геохимических поисков. С этой точки зрения можно выделить.

1. Площади с маломощным (от долей до первых метров) покровом элювиально-делювиальных отложений. Проведение геохимических поисков с поверхности не встречает здесь никаких затруднений: вторичные ореолы являются открытыми, существенно механического происхождения при подчиненной роли солевой составляющей; состав и соотношение элементов в них довольно близки соотношению элементов в подстилающих коренных породах.

2. Площади, закрытые крупноглыбовыми развалами, каменными потоками, осыпями. Геохимические поиски путем опробования элювиально-делювиальных отложений на таких площадях всегда сопряжены с серьезными трудностями, а при большой мощности этих образований невозможны. Таким образом, из площади, подлежащей опоискованию, должны исключаться склоны и их подножия, закрытые мощными осыпями и пролювиальными шлейфами.

3. Площади, закрытые чуждыми отложениями (ледниковыми, моренными, флювиогляциальными, лёссовыми и др.). Такие площади хотя и встречаются только спорадически в областях резко расчлененного горного рельефа, должны учитываться как недоступные для опоискования геохимическими методами без применения технических средств пробоотбора с глубины, отвечающей положению представительного горизонта опоискования.

В целом для рассматриваемой зоны горного рельефа наиболее типичны площади с маломощным элювиально-делювиальным покровом, являющиеся наиболее благоприятными для применения геохимических методов в комплексе поисковых работ на уран. Геохимические методы в этих областях могут использоваться при решении следующих геологических задач:

1) оценка перспектив больших территорий (многие сотни и тысячи квадратных километров) на этапе мелкомасштабных поисков;

2) локализация перспективных участков площадей, выделенных по потокам рассеяния, на этапе детальных поисков;

3) локализация перспективных участков площадей с группами пространственно сближенных гамма-аномалий, выявленных аэрогамма-поисками, на этапе предварительной наземной проверки аэрогамма-аномалий.

Помимо указанных задач, геохимические методы применяются на этапе детальных поисково-разведочных работ с целью получения дополнительных критериев для оценки участков с возможными скрытыми рудными телами в рудных районах, флангов и нижних горизонтов месторождений, перспектив рудных полей, а также наземных радиометрических аномалий с точки зрения генезиса и масштабов проявления гидротермального процесса. Эти вопросы уже разобраны в главах IV и V, и здесь мы остановимся только на первых трех задачах.

На этапе мелкомасштабных поисков для оценки перспектив значительных территорий геохимические методы в виде опробования аллювиально-пролювиальных отложений гидросети (поиски по потокам рассеяния) применяют в комплексе с геологической съемкой масштабов 1 : 200 000—1 : 25 000 (там, где она не проведена) и радиогидрохимическим опробованием водопунктов. Геохимические поиски должны по крайней мере на год опережать детальные радиометрические поиски.

Одновременное проведение детальных радиометрических поисков и опробования аллювиальных отложений в пределах одной и той же площади является методически неправильным и экономически неоправданным, так как поступающие обычно с опозданием результаты спектрального и лю-

минесцентного анализов проб не используются в процессе проведения полевых работ и только удорожают их.

Поиски по потокам рассеяния в пределах рудных районов, ранее детально опоискованных радиометрическими методами, должны проводиться для выделения перспективных площадей, где возможно обнаружение участков со скрытыми и слабоэродированными урановыми рудными телами, которые могли остаться не выявленными по тем или иным причинам.

Результаты опытно-производственных работ в горных районах подтверждают рациональность проведения геохимических поисков по потокам рассеяния, с обязательным анализом проб на уран и типичные элементы-спутники, характерные для урановых гидротермальных месторождений (свинец, молибден, мышьяк, медь). Сравнительно низкая стоимость и простота метода опробования аллювиальных отложений окупают затрату средств на производство этого вида работ, позволяющего на первом этапе отбраковать значительные территории как неперспективные и выделить для проведения детальных поисков локальные площади.

На площадях, выделенных по потокам рассеяния и характеризующихся благоприятными геологическими признаками, проводят работы комплексом следующих методов:

1) радиометрические поиски масштаба 1 : 10 000—1 : 5000;

2) металлометрическое опробование элювиально-делювиальных отложений в том же масштабе;

3) геофизические съемки — электроразведка и магниторазведка — с целью прослеживания выделенных зон тектонических нарушений и других структур под покровом рыхлых отложений; целесообразность применения методов общей геофизики в каждом отдельном случае должна определяться в зависимости от особенностей геологического строения участка и актуальности поисково-разведочных задач, решаемых этими методами;

4) гидрогеохимическая съемка на площадях поисковых работ.

Все эти работы увязываются с детальным геологическим изучением участка и должны при сочетании положительных признаков приводить к выявлению рудоносных зон, а в случае скрытого уранового оруденения — первичных ореолов над скрытыми рудными телами. Примеры использования геохимических методов при оценке перспектив значительных территорий, отдельных площадей и участков по результатам опробования аллювия и элювиально-делювиальных отложений приведены в главах IV и V.

Для оценки перспектив площадей с группой аэрогамма-аномалий, занимающих площадь 5—10 $км^2$ и более, наряду с предварительной проверкой наземной гамма-съемкой в пределах самих аномалий следует производить опробование аллювиальных отложений водосборного бассейна. Выявленные при этом потоки рассеяния урана и сопутствующих ему элементов в пределах опробованных водосборных бассейнов помогают не только локализовать перспективные площади для проведения первоочередных работ, но и отбраковать бесперспективные участки, на которых отсутствуют потоки рассеяния.

На площадях, закрытых покровом чуждых образований, проведение надежных радиометрических и геохимических поисков требует применения механических средств глубинного пробоотбора, в некоторых случаях бурения мелких скважин станком ГП-1.

Применение этих средств в горных условиях резко ограничено и может быть рекомендовано лишь в исключительных случаях при производстве поисков на небольших участках с твердо установленными перспективами: на флангах промышленных месторождений, для прослеживания уже выявленных рудоносных зон и сопровождающих их ореолов рассеяния под мощным покровом рыхлых отложений.

На таких локальных участках целесообразно предварительно использовать методы общей геофизики, в частности магниторазведку, электроразведку в различных модификациях метода сопротивлений, а также метод

вызванной поляризации (ВП). Последний фиксирует объекты, обладающие электронной проводимостью — зоны вкрапленников сульфидных минералов — пирита, галенита, молибденита и др. Эта особенность метода ВП позволяет использовать его при поисках скрытых и погребенных урановых рудных тел и месторождений, так как последние в большинстве изученных случаев сопровождаются ореолами вкрапленников сульфидных минералов той или иной интенсивности.

Глубинность метода в зависимости от параметров установки, размеров и интенсивности сульфидизации в зоне (Комаров, Иоффе, Семенов, 1959) измеряется многими десятками метров, а в благоприятных случаях достигает 100 *м* и более. По характеру графиков ВП устанавливают направление падения зон вкрапленников сульфидных минералов и примерно оценивают их глубину залегания.

Первые опытные работы методом ВП на одном из урановых месторождений были проведены в весьма неблагоприятных условиях: рудные тела локализованы в граносиенитах в форме пологих маломощных залежей, размещающихся на глубине 100—120 *м*. Коренные породы закрыты чехлом пролювиально-аллювиальных отложений мощностью 40—70 *м*. По принятой в настоящее время классификации (Хрущов, 1961) месторождение относится к скрыто-погребенным. Несмотря на эти серьезные препятствия для применения электроразведочных методов, зоны сульфидной вкрапленности, тяготеющие к хлорит-серицитовым породам, с которыми пространственно и генетически ассоциирует промышленное урановое оруденение, уверенно фиксировались методом ВП. Теоретические расчеты глубины и элементов залегания аномального объекта удовлетворительно совпали с имеющимися фактическими данными.

На нескольких других урановых рудопроявлениях были также получены положительные результаты применения метода ВП при уточнении положения урановых рудных тел по окаймляющим их зонам вкрапленников сульфидных минералов. На основании опыта первого применения метода вызванной поляризации на урановых месторождениях следует рекомендовать его для апробации в более широких производственных масштабах в комплексе с геохимическими методами исследования.

В рассматриваемых условиях можно рекомендовать применение метода ВП на этапе детальных поисков в пределах перспективных участков.

1. Для прослеживания зон сульфидных вкрапленников в коренных породах под мощными аллювиально-пролювиальными отложениями с целью уточнения положения проектируемых поисковых скважин.

2. На площадях, закрытых глыбовыми развалами, где возможно значительное смещение вторичных ореолов рассеяния вниз по склону — для уточнения положения рудоносной зоны или первичных ореолов в подстилающих коренных породах. В тех случаях, когда мелкая фракция в рыхлых отложениях отсутствует, применение метода ВП резко ограничивается, а порою делается невозможным из-за трудностей создания надежных заземлений.

3. В пределах широких (до 100 *м* и более) ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях — с целью локализации минерализованных зон в коренных породах.

Малая производительность метода ВП в горных условиях (20—30 измерений в смену) и необходимость иметь для этих работ бригаду в составе оператора и трех-четырех рабочих заставляют рассматривать этот метод как детализационный, применяемый только для решения частных задач в комплексе с геохимическими методами, а также с целью уточнения мест заложения глубоких шурфов и скважин.

2. ПОИСКИ В СРЕДНЕГОРНЫХ РАЙОНАХ ГУМИДНОЙ ЗОНЫ

Условия гумидного климата присущи обширным территориям Советского Союза. Они характеризуют также и некоторые районы, географически тяготеющие к аридной климатической зоне. К таким районам юга страны отно-

сятся северные склоны некоторых горных хребтов. Отличительным признаком их служит развитие горно-лугового ландшафта с покровом горно-луговых и горно-лесных почв, мощным гумусовым горизонтом и обилием влаголюбивой растительности.

Ландшафтно-климатические условия гумидной зоны определяют преимущественное развитие процессов химического выветривания. В связи с преобладанием количества выпадающих осадков над испаряемостью и промывным режимом почв из верхних горизонтов почв и подстилающего подпочвенного слоя энергично выносятся легкоподвижные элементы, в особенности уран и радий. Вследствие этого происходит обеднение верхних горизонтов и образование выщелоченного горизонта на глубину 0,5—1,0 *м*. Развитые в таких условиях ореолы рассеяния или не выходят на поверхность, являются закрытыми, или резко ослаблены у поверхности.

В районах описываемой зоны геохимические методы наиболее эффективно применяются на этапе предварительных мелкомасштабных поисковых работ с целью оценки перспектив значительных территорий и выделения локальных площадей для производства более детальных комплексных поисковых работ. Такие мелкомасштабные поиски производят с помощью опробования аллювия.

Перспективные площади горных склонов и водоразделов, выделенные по наличию потоков рассеяния урана и элементов-спутников в пределах водосборных бассейнов исследуют с помощью комплекса методов, различного для разных районов. В общем случае он включает в себя радиометрические, общегеофизические, металлометрические и радиогидрогеологические методы. Учитывая наличие выщелоченного горизонта, радиометрические поиски производят с глубины 0,5—1,0 *м*, где ореолы рассеяния урана и радия еще сохранились. Следует подчеркнуть еще раз, что глубина выщелачивания ореола рассеяния в делювии различна для разных элементов и зависит в первую очередь от коэффициента водной миграции элемента или его соединений.

По опыту металлометрических поисков, проводимых геологическими управлениями, можно считать доказанным, что вторичные ореолы рассеяния свинца в делювии в условиях типичной гумидной зоны слабо выщелачиваются и фиксируются с поверхности непосредственно в почвенном слое. Поэтому установленная для какого-либо района гумидной зоны роль свинца как элемента, сопутствующего урану, приобретает принципиально важное значение, допуская проведение геохимических поисков с поверхности. В этом случае может быть оправдано даже изменение последовательности проведения работ. Более легкое и высокопроизводительное металлометрическое опробование элювиально-делювиальных отложений на свинец может использоваться как метод, опережающий более трудоемкую гамма-шпуровую или эманационную съемки. В этом случае радиометрические методы должны применяться в качестве проверочных на выявленных ореолах рассеяния свинца.

Для надежного опоискования площади необходим правильный и обоснованный выбор представительного горизонта опробования. С этой целью проводят предварительное опробование канав, вскрывающих рудные тела и ореолы рассеяния в рыхлых отложениях. Установив представительный горизонт, в дальнейшем глубинную гамма-съемку (в шпуровом варианте или в закопушках) и геохимическое опробование необходимо производить только на глубине его распространения. Выявленные гамма- или эманационные аномалии, сопровождаемые ореолами рассеяния элементов-спутников, подлежат вскрытию канавами с целью детального геологического изучения.

Для обоснования правильного заложения горных выработок и скважин необходимо получение дополнительных данных о поведении выявленных зон на глубину. В условиях закрытых площадей этого не удается достигнуть по результатам изучения поверхности. Поэтому применяют методы общей геофизики, из которых в последние годы хорошо зарекомендовали себя

методы электроразведки на переменном токе с аппаратурой НЧМ, обладающие высокой эффективностью при выявлении хорошо проводящих зон (тектонических нарушений и т. п.) и большой производительностью в условиях горно-таежного рельефа.

В условиях гумидной зоны с успехом может применяться также метод ВП, но для условий тайги необходимо создание более легкой аппаратуры по сравнению со станцией ВП-59. По имеющимся данным такой легкий переносной комплект (КЭП-1), позволяющий производить измерения кажущегося сопротивления, естественных потенциалов и вызванной поляризации, испытан в условиях тайги и намечен к выпуску с 1963 г. на одном из заводов Красноярского совнархоза. Применение этих методов целесообразно на этапе детальных поисковых и разведочных работ при расшифровке особенностей геологической структуры участка.

3. ПОИСКИ В ПЕНЕПЛЕНИЗИРОВАННЫХ РАЙОНАХ АРИДНОЙ ЗОНЫ

В условиях сглаженного рельефа предгорий и пенепленизированных областей аридной зоны по опыту проведенных работ могут быть выделены два района, различающихся методикой поисков. Основным отличием между ними является мощность перекрывающих чуждых отложений.

Поиски в районах полупустыни с эоловыми отложениями небольшой мощности

Поиски эндогенных месторождений урана в этих районах имеют свою специфику, обусловленную развитием на широких площадях покрова чуждых дальнеприносных отложений преимущественно эолового происхождения, слабо закрепленных редкой растительностью, и почти не проявленным почвообразовательным процессом.

В рельефе местности господствуют обширные выровненные пространства водоразделов, слабо расчлененные современной эрозионной сетью. Реки сравнительно редки, часто пересыхают в летнее время. Дочетвертичная кора выветривания на большей части площади смыта, и лишь по зонам крупных тектонических нарушений и в понижениях рельефа сохранилась линейная кора выветривания.

На месторождениях развита неглубокая зона окисления, современные ландшафтно-климатические условия неблагоприятны для процессов химического рассеяния элементов в рыхлых отложениях. Потоки рассеяния в этих условиях как правило не образуются, а если и выявляются, то характеризуют только небольшие участки, примыкающие к пойменной части долины, и не могут служить критерием для оценки перспектив рудоносности значительных площадей, не затронутых эрозионными процессами. Засушливость климата и глубокий уровень грунтовых вод исключают появление на поверхности источников подземных вод, что резко ограничивает применение в этих условиях радиогидрогеологического метода поисков.

Урановые месторождения сопровождаются многочисленными переотложенными скоплениями урана в приповерхностных условиях инфильтрационного и испарительного происхождения. Основные промышленные рудные тела являются скрытыми или слабоэродированными с небольшими (первые десятки квадратных метров) размерами выходов на поверхность.

В силу того что площади, подлежащие первоочередному опоискованию, закрыты с поверхности покровом современных рыхлых образований эолового происхождения мощностью от 0,5—1,0 до 6—10 *м*, проведение гамма-поисков и геохимического опробования с поверхности не приносит положительных результатов. На основании опытно-производственных работ для перспективных площадей в этом регионе выработан следующий комплекс поисковых методов.

Опоискование площадей с покровом эоловых отложений до 1 *м* производят шпуровой или плужной гамма-съемкой. На выявляемых гамма-аномалиях производят опробование элювиально-делювиальных отложений с целью получения дополнительных оценочных признаков по наличию элементов-спутников урана. В одном из исследованных районов данного типа такими элементами являются молибден, свинец, мышьяк с ведущей ролью молибдена в данном геологическом регионе.

Гамма-аномалии, не сопровождающиеся ореолами рассеяния элементов, сопутствующих урану, отбраковывают как вызванные вторичными скоплениями урана в зоне гипергенеза и потому не представляющие интереса для поисков на глубине коренного оруденения. Площади, на которых плужные борозды вскрывают элювий коренных пород, но гамма-аномалии отсутствуют, не подвергают геохимическому опробованию. Исключение составляют структурные узлы, весьма перспективные с геологической точки зрения, в пределах которых производят площадное геохимическое опробование по бороздам плужной съемки для выявления признаков возможных скрытых рудных тел.

Участки с мощными рыхлыми отложениями, недоступные для опоискования плужной съемкой, изучают с помощью глубинной гамма-съемки из шнековых скважин с последующим геохимическим опробованием материала глубоких горизонтов разреза рыхлых отложений. Разбуриванию по профилям в первую очередь подвергают крупные зоны разломов. В отобранных пробах спектральным путем устанавливают наличие элементов-спутников. В случае положительных результатов участки, тяготеющие к зонам разломов, изучаются более детально с целью поисков ореолов и рудных тел, локализованных в трещинах оперения, тектонических «клиньях» и других благоприятных структурах.

Выявленные и оцененные как перспективные гамма-аномалии подлежат проверке горнобуровыми работами. Методы общей геофизики (магниторазведка и электроразведка) применяются в этом комплексе на этапе предварительного изучения перспективных территорий и рудных полей для выделения структурных узлов, зачастую приуроченных к поясам даек основного состава — диабазов, диабазовых порфиритов. Последние уверенно прослеживаются с помощью автомагнитной съемки, являющейся в этих условиях высокопроизводительным методом.

Как показало широкое производственное применение геохимических методов поисков с использованием вторичных ореолов рассеяния элементов-спутников урана, с их помощью удается быстро и эффективно оценить многие сотни выявляемых гамма-аномалий, выделить из них для детального изучения небольшое количество перспективных и отбраковать, как не представляющие интереса, до 85% всего количества аномалий. Фактические данные об эффективности комплексных радиометрических и геохимических поисков по одному из регионов приведены в главе V (см. рис. 54).

Поиски в степных пенепленизированных районах

Особенностью этих районов является широкое площадное развитие чуждых отложений переменной мощности от первых до многих десятков метров. Одним из важных вопросов, который приходится здесь решать, является выбор технических средств, позволяющих производить опробование представительного горизонта. Последний в данных районах расположен на различных глубинах — от 1,0 до 25 *м* и более. В этих условиях применяют специальные механические агрегаты глубинных поисков — СВА-2, СУГП-10, а при мощности рыхлых отложений до 100 *м* и более — самоходные буровые установки колонкового бурения. Методика и техника проведения радиометрических поисков с этими агрегатами изложена в соответствующих руководствах, а особенности методики геохимического опробования коры выветривания освещены выше, в главе III.

Использование геохимических методов при решении различных поисково-разведочных задач

Таблица 27

Методы	Поисково-разведочные задачи	Этапы и стадии геологоразведочных пород	Характер работ	Масштаб работ	Представляемые материалы	Условия применения
Геохимическая съемка аллювиально-пролювиальных отложений	1. Оценка значительных территорий для выделения перспективных площадей	Региональные геологические съемки с массовыми поисками	Опробование гидросети с шагом 200—300 *м*	1 : 200 000 1 : 50 000	Карты потоков рассеяния с выделенными площадями под детальные поиски	В районах с резко расчлененным рельефом и развитой гидросетью в любых климатических условиях
	2. Оценка площадей с группой сближенных аэрогамма-аномалий	Этап предварительной проверки аэрогамма-аномалий	Опробование гидросети всей площади аэрогамма-аномалий с шагом 100 *м*	1 : 25 000		
	3. Поиски участков с возможными скрытыми рудными телами в рудных районах	Детальные поиски	Опробование гидросети с шагом 100 *м* и пролювия склонов в крупных водотоках	1 : 25 000		
Геохимическая съемка элювиально-делювиальных отложений	4. Поиски на площадях, выделенных по потокам рассеяния	Детальные поиски	Площадная геохимическая съемка по сети 100×20 *м* или 50×10 *м*	1 : 10 000 1 : 5 000	Карты вторичных ореолов с рекомендациями по проходке канав и неглубоких шурфов	Покров чуждых отложений отсутствует. Для открытых ореолов опробование с поверхности, для выщелоченных — с глубины представительного горизонта
	5. Поиски скрытых рудных тел в рудных полях	То же		1 : 10 000	То же	
	6. Оценка радиометрических аномалий, выявленных при наземных работах	Радиометрические поиски любых масштабов	Опробование по отдельным профилям	1 : 5000	Графики распределения гамма-активности и элементов-спутников по профилям с рекомендуемыми выработками	То же

	7. Оценка аэрогамма-аномалий	Предварительная наземная проверка аэрогамма-аномалий	Опробование по отдельным профилям	1 : 10 000 1 : 5 000	Графики распределения гамма-активности и элементов-спутников по профилям с рекомендуемыми выработками	Покров чуждых отложений отсутствует. Для открытых ореолов опробование с поверхности, для выщелоченных — с глубины представительного горизонта
	8. Оценка разведуемых и ревизуемых рудопроявлений	Детальные наземные поиски и предварительная разведка	Два этапа опробования по отдельным профилям; на перспективных рудопроявлениях площадная металлометрическая съемка по сети 50×10 *м*	1 : 5 000 и крупнее	Графики и карты ореолов рассеяния с рекомендуемыми выработками	
Геохимическое опробование погребенной коры выветривания	9. Поиски погребенных рудных тел	Специализированные глубинные поиски с применением СУГП-10 или бурения	Геохимическое опробование пород из забоя скважин или керна	1 : 50 000 1 : 10 000	Профили, карты распределения ореолов в коре выветривания с рекомендуемыми участками для детализации и точности заложения оценочных скважин	На площадях, закрытых чуждыми рыхлыми отложениями; технические средства выбирают в зависимости от мощности перекрывающих толщ
Геохимическое опробование коренных пород	10. Поиски скрытопогребенных рудных тел по первичным ореолам под мощными рыхлыми отложениями	Мелкомасштабное геологическое картирование закрытых территорий	Опробование керна картировочных скважин пунктирной бороздой длиной 3—5 *м*	1 : 100 000 и крупнее	Карта распределения первичных ореолов с участками, рекомендуемыми для детализации	На площадях, закрытых мощными рыхлыми отложениями при отсутствии древней коры выветривания

Продол. табл. 27

Методы	Поисково-разведочные задачи	Этапы и стадии геологоразведочных работ	Характер работ	Масштаб работ	Представляемые материалы	Условия применения
	11. Оценка перспективности зон тектонических нарушений, гидротермально измененных пород и вторичных ореолов рассеяния	Поиски скрытых рудных тел	Опробование канав и и обнажений пунктирной бороздой длиной 5—10 *м*	1 : 5 000 и крупнее	Зарисовки канав с графиками содержания элементов. Проектные разрезы с рекомендуемыми выработками (штольни, скважины)	На обнаженных площадях, в искусственных обнажениях и горных выработках
	12. Оценка флангов и нижних горизонтов месторождений	Разведка месторождений	Опробование керна всех поисково-разведочных скважин и квершлажных выработок пунктирной бороздой длиной 3—5 *м*	1 : 2 000 1 : 500	Графики на разрезах, погоризонтные планы с контурами ореолов и рекомендуемыми выработками	
					То же	

Значительное место при глубинных поисках погребенных месторождений урана занимают методы общей геофизики — электроразведка и магниторазведка, с помощью которых уточняют геологическую структуру закрытых площадей и определяют мощность рыхлых отложений в пределах разбуриваемых площадей. Основным поисковым методом является гамма-каротаж пройденных шпуров и скважин, а использование геохимических методов ограничивается изучением элементов-спутников в пробах, отобранных из забоев скважин с установленной повышенной гамма-активностью.

Отбор проб из забоя всех без исключения скважин с их последующим спектральным анализом на широкий круг элементов дал бы возможность, помимо гамма-активности, использовать данные о распределении содержаний других элементов в коре выветривания. Отбор одной пробы из забоя скважин, незначительно удорожая работы, сделал бы поиски более надежными и дал бы возможность выявить помимо погребенных урановых месторождений также скрыто-погребенные урановые рудные тела, проявляющиеся ореолами рассеяния элементов-спутников в коре выветривания. При этом поиски были бы комплексными и могли бы выявить также месторождения других металлов (молибден, медь, свинец, никель и т. д.), не отмечающиеся повышенной гамма-активностью.

4. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Подводя итоги краткому обзору применения геохимических методов с целью решения определенных геологических задач в разнообразных ландшафтно-геологических зонах, следует подчеркнуть, что они должны использоваться на всех этапах поисков и разведки гидротермальных ме-

сторождений урана в комплексе с другими поисковыми методами. В табл. 27 показаны возможности применения геохимических методов и вопросы, в решении которых они могут оказать существенную помощь. Большинство задач, перечисленных в таблице, детально разобраны в главах IV—VI и дополнительных пояснений не требуют. Кратко рассмотрим только задачи 7, 10 и 11.

Оценка аэрогамма-аномалий (задача 7)

В соответствии с требованиями инструкций и руководства по аэропоискам на этапе предварительной наземной проверки аэрогамма-аномалий отбирают небольшое количество металлометрических проб из рыхлых отложений по профилям, пересекающим аномалию. Результаты спектрального анализа этих проб в настоящее время оценивают только с точки зрения возможного выявления в пределах гамма-аномалии промышленной минерализации других металлов (вольфрам, молибден, бериллий, ниобий, тантал), в связи с чем основное внимание обращают на высокие концентрации рудных элементов.

При оценке аномалий для выявления ореолов следует учитывать и сравнительно слабые повышения концентраций элементов в металлометрических пробах, превышающие в 10—30 раз геохимический фон, которые являются наиболее типичными для содержаний сопутствующих урану элементов в ореолах рассеяния вокруг эродированных и скрытых урановых рудных тел. Дальнейшее изучение и интерпретация установленных ореолов рассеяния на участках аэрогамма-аномалий не отличаются от исследований, проводящихся на радиометрических наземных аномалиях, описанных в главе V.

В то же время необходимо пересмотреть и ревизовать накопленный огромный фактический материал по наземной проверке аэрогамма-аномалий прошлых лет в районах развития эффузивных и интрузивных комплексов, где возможно наличие гидротермальных урановых месторождений. По многим из этих аномалий имеются результаты спектральных анализов металлометрических проб, отобранных на этапе их предварительной проверки по редким профилям или по всей площади на стадии детальных проверочных работ.

Эти результаты следует оценить с точки зрения наличия ореолов рассеяния элементов, сопутствующих урану, и в связи с этим возможно пересмотреть оценку некоторых ранее отбракованных по различным причинам аэрогамма-аномалий. Такие аномалии, находящиеся в благоприятных геолого-структурных условиях, в областях с неглубоким эрозионным срезом, следует рассматривать как участки, нуждающиеся в повторной ревизии. Можно предполагать, что здесь имеется серьезный резерв рудопроявлений и месторождений, на выявление которого необходимо направить усилия работников методических групп производственных экспедиций.

Поиски рудных тел по первичным ореолам под мощными рыхлыми отложениями (задача 10)

В настоящее время во многих рудных провинциях в большом объеме проводят картировочное бурение. Как правило, на этих площадях перекрывающие рыхлые отложения достигают большой мощности — от первых десятков до 100 *м* и более. Поиски урановых рудных тел по погребенным первичным ореолам урана и сопутствующих ему элементов могут являться задачей геологических организаций, проводящих картировочное бурение.

Интервалы геологического разреза, где по данным каротажа скважин установлена повышенная гамма-активность, следует обязательно изучать с точки зрения содержаний элементов-спутников урана. С этой целью необходимо опробовать керн скважин 3—5-метровой пунктирной бороздой

с последующим люминесцентным анализом его на уран и спектральным анализом на элементы-спутники. Такие исследования дают возможность оценить аномалии, выявленные гамма-каротажем с необходимой полнотой, и выделить для последующей детализации наиболее перспективные из них. При этом следует иметь в виду, что распределение урана в гидротермальных рудных телах и ореолах характеризуется высокой степенью неравномерности (см. главу I). Установление в пределах гамма-каротажных максимумов повышенных содержаний свинца и молибдена, распределенных более равномерно, чем уран (см. табл. 8), заставит внимательно отнестись к оценке гамма-аномалий.

Подобные исследования не проводились в широких масштабах на закрытых территориях, и представляется несомненным, что использование ореолов элементов-спутников урана при мелкомасштабном картировочном бурении будет способствовать выявлению скрыто-погребенных рудных тел и месторождений.

Оценка перспективности зон тектонических нарушений, гидротермально измененных пород и вторичных ореолов рассеяния (задача 11)

В главах II—IV рассматривался вопрос о необходимости вскрытия канавами вторичных ореолов. Эти работы имеют целью установление связи вторичного ореола с геологическими структурами, определение величины свинцово-уранового отношения в коренных породах и опробование трещин разных направлений для решения вопроса о связи урановой и сопутствующей ей минерализации с одной или разными стадиями рудного процесса. Опробование коренных пород необходимо применять также для оценки тектонических зон или выходов гидротермально измененных пород.

Часто при проведении геологической съемки или специальных поисков по маршруту устанавливаются зоны трещиноватости, сопровождающиеся покраснением, пиритизацией, карбонатизацией или другими изменениями пород. Зоны иногда характеризуются небольшим повышением гамма-активности до 10—50 *мкр/час*. Этих данных недостаточно для заложения выработок.

Чтобы оценить указанные зоны, целесообразно с обнажений отобрать несколько небольших штуфов и, объединив их в одну пробу, подвергнуть спектральному анализу. Наличие или отсутствие элементов, типичных для гидротермального процесса, явится дополнительным признаком для положительной либо отрицательной оценки исследуемых зон. На тех из них, которые по совокупности благоприятных признаков оценены положительно, в дальнейшем следует проводить дополнительные работы для вскрытия и оконтуривания ореолов химических элементов.

* * *

В заключение необходимо подчеркнуть еще раз, что не существовало и, вероятно, не появится в будущем такого универсального метода, с помощью которого можно было бы решать все поисковые задачи, выдвигаемые практикой. Наиболее надежными и уверенными могут быть только комплексные поиски с применением нескольких методов, причем комплекс методов определяется в первую очередь геологической обстановкой и четко сформулированной задачей. Ведущим методом, применяемым в наибольших объемах, должен быть прямой и наиболее дешевый метод; для поисков урановых месторождений, в частности, таким методом является гамма-съемка.

Геохимические методы являются вспомогательными, их назначение — повышение надежности опоискования или помощь при интерпретации выявленных аномалий. Аналогичное положение занимают и методы общей геофизики, являющиеся также косвенными, так как, не выявляя непосред-

ственно урановые рудные тела, они помогают уточнить геологическое строение, пространственное положение рудовмещающих структур и факторы, осложняющие проведение поисков, например мощность рыхлых отложений.

При интерпретации аномалий, выявленных любым методом, в первую очередь должны привлекаться геологические материалы, использоваться все известные для района поисковые признаки и критерии, а также данные других методов. Только совокупность всех материалов позволит дать заключение о рациональности проведения на том или ином участке горнобуровых разведочных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате работ, проведенных на ряде гидротермальных урановых месторождений в различных районах, установлены общие закономерности развития эндогенных ореолов химических элементов и их вертикальная зональность.

2. Ореолы химических элементов (уран, радий, свинец, молибден и др.), образующиеся вокруг урановых рудных тел, являются весьма важным поисковым признаком скрытых рудных тел. Разведочными работами на нескольких перспективных участках, выделенных по ореолам урана, радия и элементов-спутников на глубине, были выявлены скрытые промышленные урановые рудные тела.

3. Количественные соотношения продуктивностей ореолов урана и его спутников являются одним из признаков, позволяющих различать гамма-аномалии над верхними горизонтами урановых рудных тел от аномалий над глубокоэродированными рудными телами (их корнями). Геохимические исследования в сочетании с геологическими наблюдениями позволяют отличать гаммааномалии над гидротермальными рудными телами от аномалий, обусловленных приповерхностными скоплениями урана. Возможность применения геохимических методов для решения указанных задач подтверждена практикой поисково-разведочных работ в ряде рудных районов.

4. Эффективность применения геохимических методов определяется тем, насколько тесно сочетаются эти методы с геологическими и общегеофизическими, особенно в закрытых районах. Только комплекс геологических, геохимических и геофизических данных позволяет уверенно оценивать перспективность участков.

5. Для правильной организации поисково-разведочных работ с применением геохимических методов необходимо:

а) выделение специальных сотрудников для проведения геохимической съемки на рудниках и в поисково-разведочных партиях;

б) наличие спектральных и люминесцентных лабораторий, способных в короткий срок в нужном количестве и с требуемой точностью выполнять анализы геохимических проб.

6. Дальнейшая разработка и усовершенствование геохимических методов должны быть направлены на изучение вопросов, которые еще не решены. Такими вопросами являются:

а) выявление критериев для правильной оценки геохимических аномалий в районах, где проявлены несколько разновозрастных этапов и стадий минералообразования, минеральные ассоциации которых близки по составу и совмещены в пространстве;

б) отыскание дополнительных элементов-спутников урана (кроме свинца), характерных только для эндогенных месторождений урана и не отмечаемых над приповерхностными скоплениями урана;

в) выявление геохимических критериев и признаков для определения с необходимой для целей практики точностью глубины залегания и падения скрытых урановых рудных тел;

г) выявление особенностей распределения элементов-спутников урана во вторичных ореолах рассеяния в различных ландшафтно-климатических

зонах и установление элементов, образующих наиболее устойчивые и выходящие на поверхность ореолы рассеяния в гумидной зоне.

Решение указанных вопросов, очевидно, должно производиться двумя путями: анализ и обобщение материалов производственных организаций, полученных в результате применения геохимических методов в практике поисково-разведочных работ, и проведение методических исследований научно-исследовательскими институтами.

7. Качественный скачок в развитии геохимических методов может быть достигнут в результате создания аппаратуры, в частности ядерно-физической, позволяющей оперативно на точке наблюдения измерять концентрацию различных металлов (свинец, молибден, медь и др.).

8. Одной из практически важных проблем дальнейшего развития геохимических методов является разработка методики поисков скрыто-погребенных рудных тел и скрытых тел, первичные ореолы которых не вскрыты эрозией (в частности, на участках перспективных радиогидрохимических аномалий).

* * *

Широкое применение геохимических методов при решении различных поисково-разведочных задач, творческий подход при поведении работ и анализ полученных материалов с учетом геологических и ландшафтных особенностей районов будут способствовать повышению эффективности поисков месторождений урана.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ФОРМА СОПРОВОДИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

« » . . . . . .196—г. Лаборатория

Кому———————————

От кого———————————

Направляются пробы———————————

№ мешков от —— до———	№ проб от —— до———	Количество проб	Способ обработки проб	Примечание

Всего

Принял———————————— (подпись)

Сдал———————————— (подпись)

Примечание: 1. Сопроводительная записка составляется в двух экземплярах, один из которых остается у оператора, производившего отбор проб. 2. В графе «Способ обработки проб» указывается последовательность обработки (дробление для проб коренных пород, ситование для проб элювио-делювиальных отложений с диаметрами сит).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФОРМА ПОЛЕВОЙ КНИЖКИ ДЛЯ ДОКУМЕНТАЦИИ ОТБОРА МЕТАЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОБ

« » . . . . . .196—г.

Участок _____

Профиль _____

№ п. п.	№ проб	№ мешков	Точки (метры) отбора проб	Глубина отбора проб	Характер материала пробы	Гамма-измерения				Угол наклона профиля	Примечание
						шкала	величины измерений в делениях шкалы	среднее	гамма-активность, *мкр/час*		

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ФОРМА ПОЛЕВОЙ КНИЖКИ ДЛЯ ДОКУМЕНТАЦИИ ОТБОРА ПРОБ АЛЛЮВИЯ

Участок _____

« » . . . . . .196—г. Ручей (лог) _____

№ п. п.	№ проб	№ мешков	Расстояние от устья, *км*	Характер материала пробы	Примечание

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

СПИСОК ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УРАНОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

№ п. п.	Наименование	Количество
	Оборудование	
1	Люминесцентный фотометр	1
2	Весы торзионные	1
3	Дестиллятор	1
4	Электроплитки размером 50×40 *см*	2
5	Химический вытяжной шкаф с вентилятором «Сирокко» № 2 или № 3	1
6	Вентилятор для фотометрической комнаты	1
7	Муфельная печь	1
8	Сушильный шкаф	1
	Химическая посуда	
9	Бюретки с кранами на 100 *см*³	6
10	Бюксы химические или стаканчики	1000
11	Тигли фарфоровые № 2	500
12	Колбы мерные на 250 *см*³	10
13	Спиртовка	1
	Материалы для обработки проб	
	(10 000 анализов)	
14	Сода углекислая безводная химически чистая	7,0 *кг*
15	Фтористый натрий	0,5 »
16	Кислота соляная	30 *л*
17	Кислота азотная	10 »
18	Кислота серная	10 »
19	Калий двухромовокислый (для мытья посуды)	1,0 *кг*
20	Спирт	30 *л*
21	Платиновая проволока ∅ 0,3 *мм*	9 *г*

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

№ п. п.	Наименование	Количество
	Основное оборудование	
1	Спектрограф средней дисперсии ИСП-22 или ИСП-28 . .	1
2	Аппарат АВР-2 для введения порошков воздухом в дугу	1
3	Генератор дуги переменного тока ПС-39 или ДГ-1 . . .	1
4	Спектропроектор ПС-18 или ДСП-1	1
	Вспомогательное оборудование	
5	Вибрационный истиратель типа 75Б-ДР «Механобр» или растирочный станок системы Казахского геологического треста	1
6	Набор проволочных стальных или алюминиевых сит до 300 *меш*	1
7	Станок для заточки концов угольных электродов . . .	1
8	Сверла-фрезы для высверливания углубления (различных размеров)	15—20
9	Фрезы конические	10—15
10	Реостат лабораторный большой на 25 *а*, 66 *ом*	1
11	Латр-2	1
12	Вентилятор типа ВН-3 с мотором 0,25 *квт*	1
13	Дуговой штатив для анализа порошковых проб	1
14	Кюветы для промывки фотопластинок:	
	9×13 *см*	2
	13×18 *см*	2
	24×30 *см*	2
15	Комплект эталонов	
16	Таблицы спектральных линий	
17	Атласы спектров	
	Расход материалов на 10 000 анализов	
18	Спектрально чистые угли:	
	диаметр 6 *мм*, длина 250 *мм* при испарении в канале электрода	2000
	при испарении вдуванием	500
19	Фотопластинки 9×12 при испарении в канале:	
	угля	80 пачек
	при испарении вдуванием	50 »
20	Сульфат натрия кристаллический	2,5 *кг*
21	Сода безводная	3,0 »
22	Гипосульфит	8,0 »
23	Метол	0,3 »
24	Гидрохинон	0,5 »
25	Бромистый калий	0,3 »

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ТИПИЧНЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ НА УРАНОВЫХ И ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Составил *Е. А. Сизов*
по материалам *А. Н. Боголюбова*, *Е. А. Майоровой*,
Н. Н. Сочеванова и *В. Н. Тулина*

Лист 1

Условные обозначения

Четвертичные отложения

Третичные отложения (континентальные, морские)

Кислые эффузивные породы и их туфы

Эффузивы среднего и основного состава

Метаморфические породы (гнейсы, сланцы)

Осадочные породы

Гранитоиды

Песчаники

Дайки кислых пород

Дайки основных пород

Зоны дробления и перетирания пород

Тектонические трещины

Зоны гидротермально измененных пород

Рудные тела

Проявления вторичной минерализации урана

Графики содержания элементов:

Урана

Свинца

Молибдена

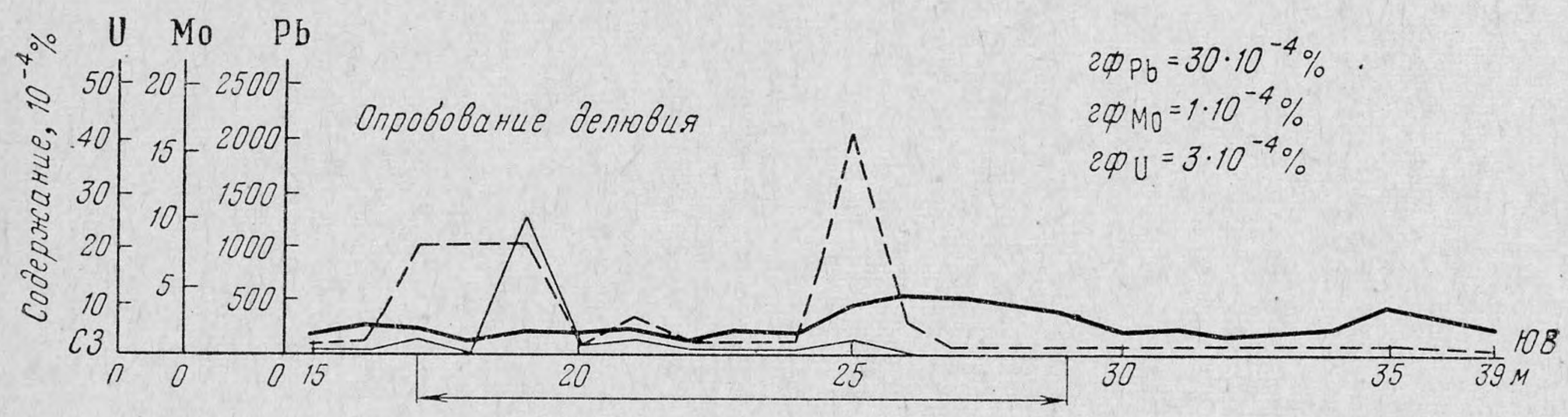
20 40 60 *Интервал профиля поэлементного подсчета линейных продуктивностей и их отношений*

M_U, M_{Pb}, M_{Mo} – *линейная продуктивность ореолов рассеяния* U, Pb *и* Mo, *мгф*

$\frac{M_{Pb}}{M_U}, \frac{M_{Mo}}{M_U}$ – *отношения линейных продуктивностей в ореоле*

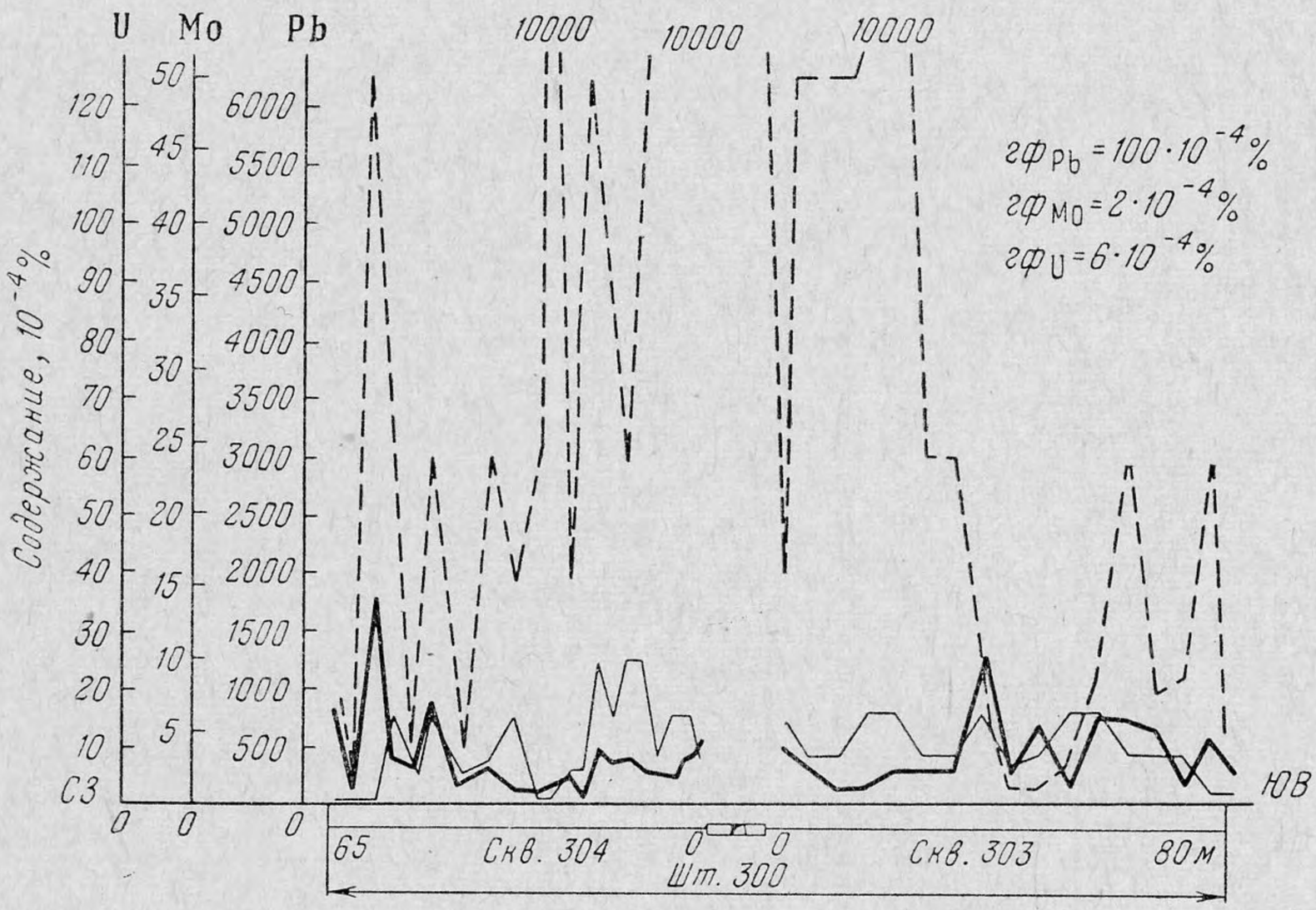
МЕСТОРОЖДЕНИЕ I

Лист 2



ГОРИЗОНТ III

Скв. 303 и 304

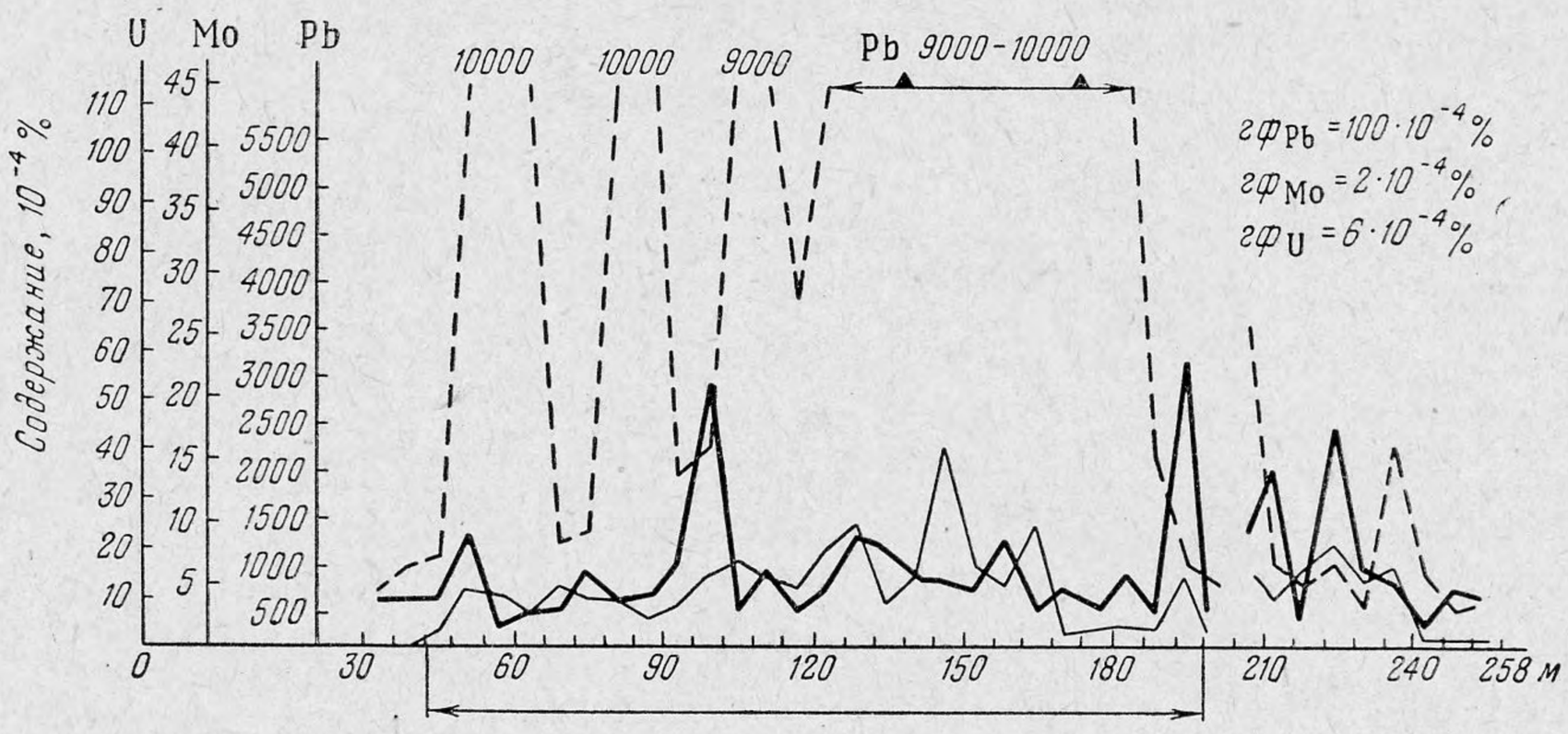


Результаты опробования III горизонта, по данным Г. И. Вертепова

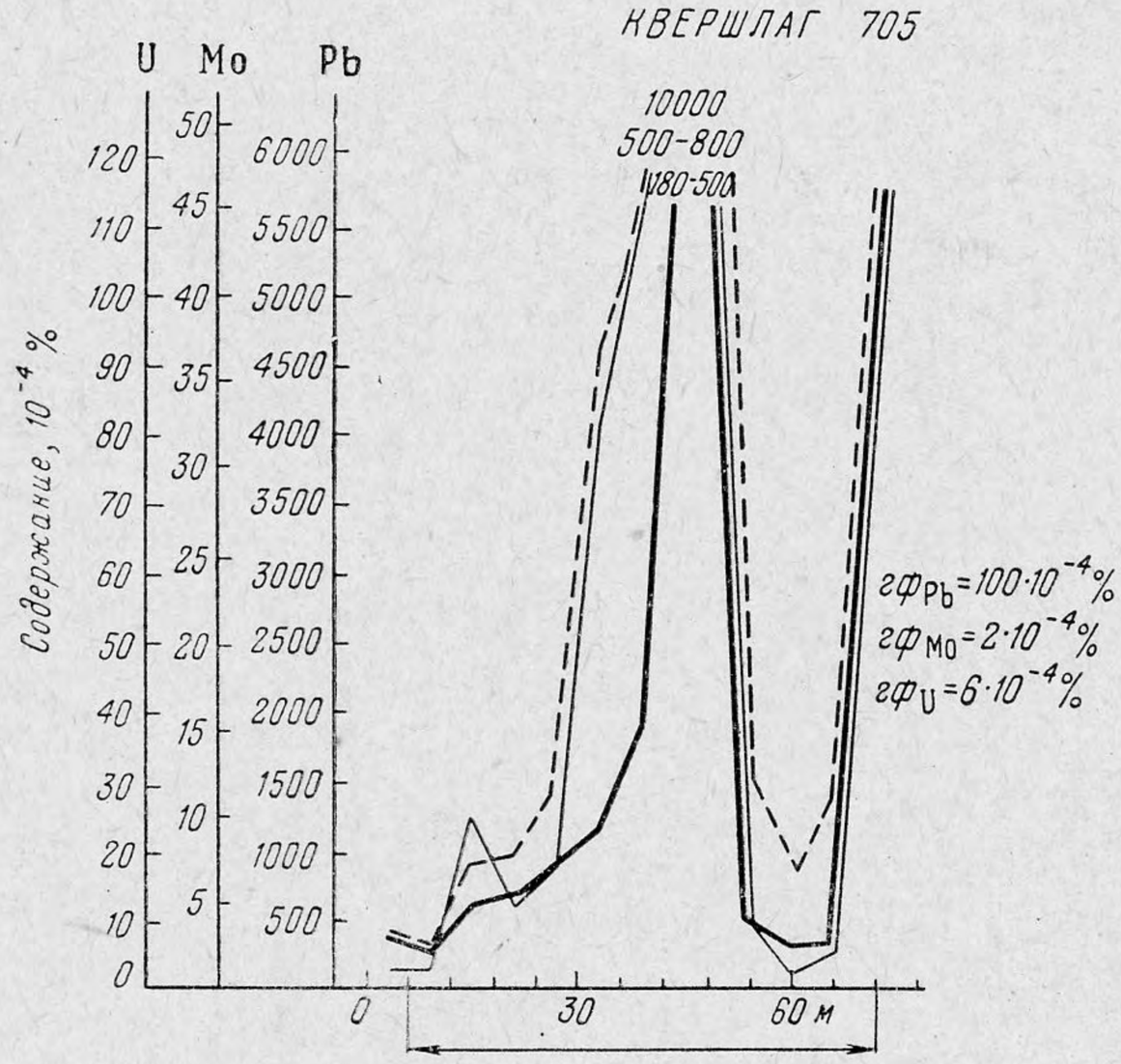
Продолжение и геологический разрез см. лист 3

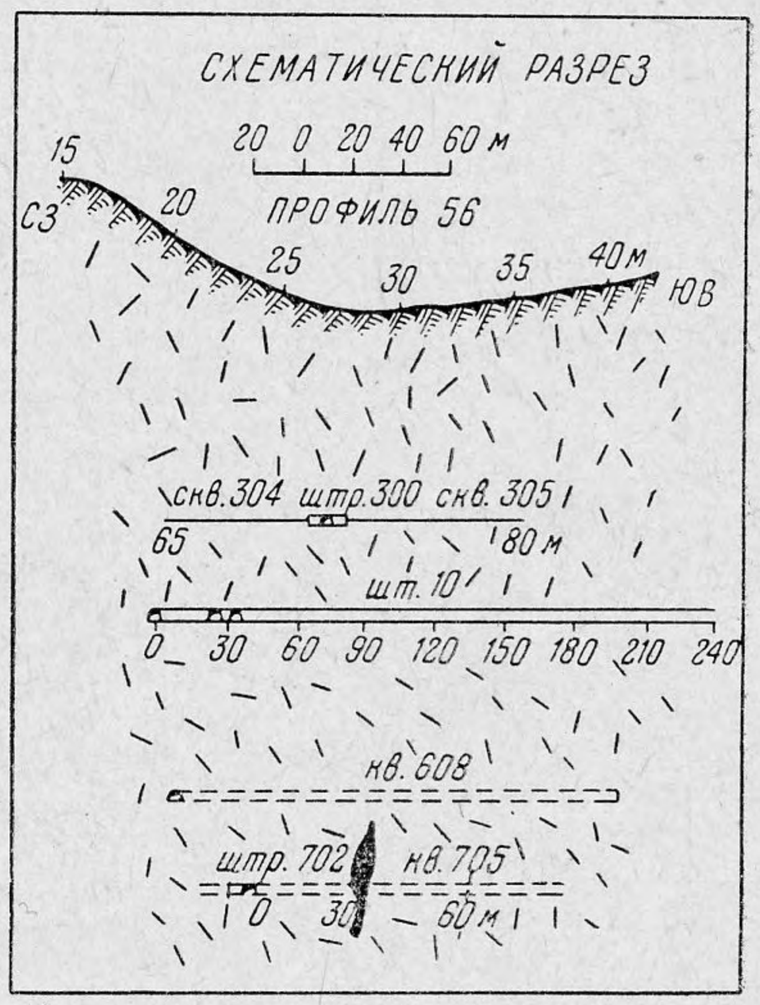
Горизонт, профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
Пр. 56 Гор. III	17—29	1900	0	97	19,7	0
Скв. 304	0—65	3617	138	32	70	2,66
Скв. 303	0—80					
Шт. 10	42—198	1260	342	252	48,5	1,34
Кв. 705	6—72	2541	22 197	792	3,2	27,9

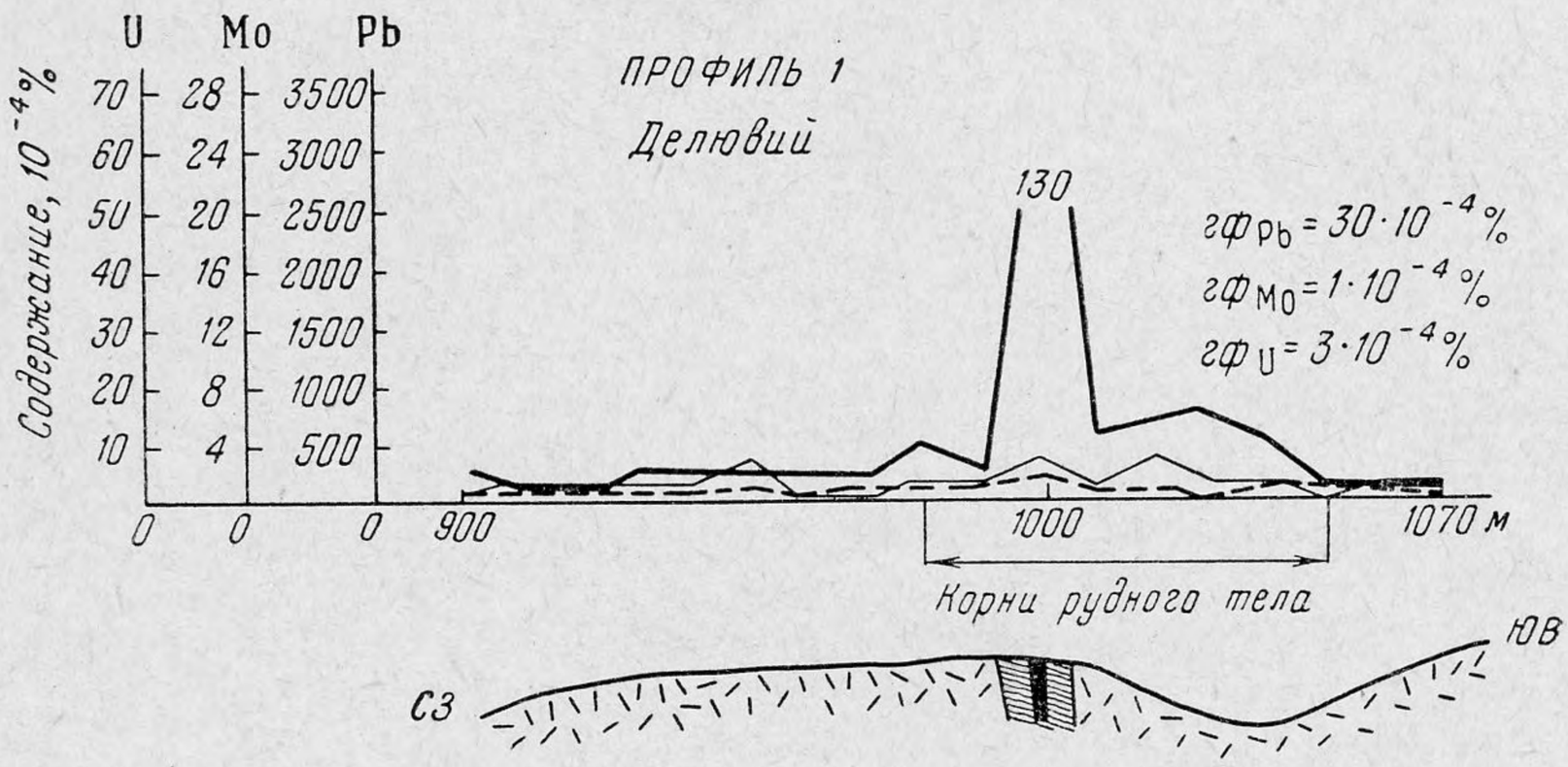
ШТОЛЬНЯ 10

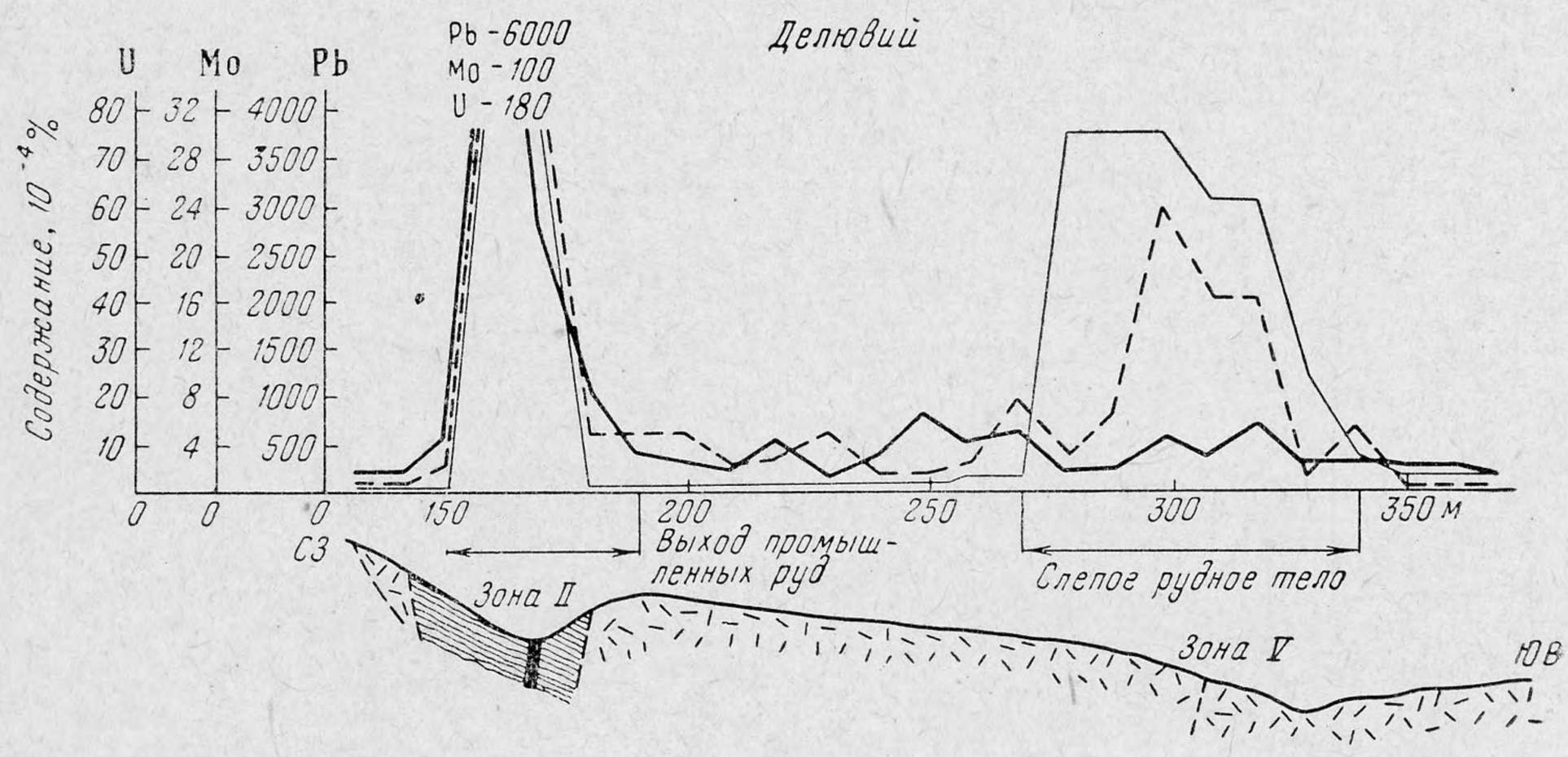


КВЕРШЛАГ 705





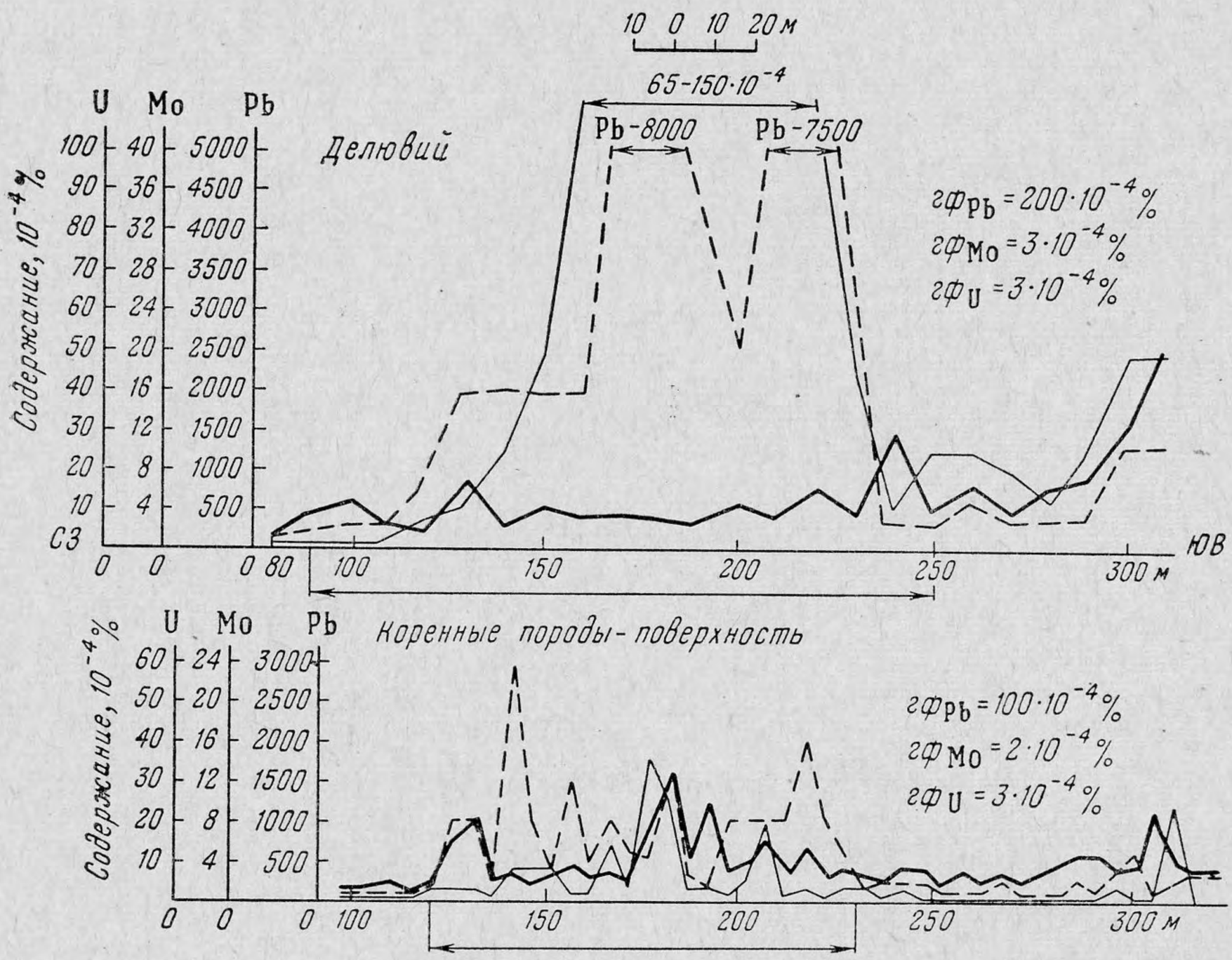


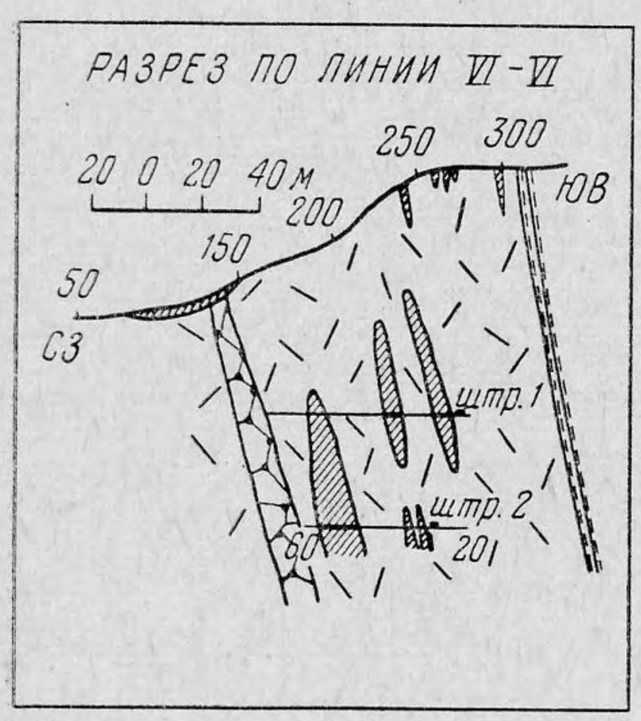


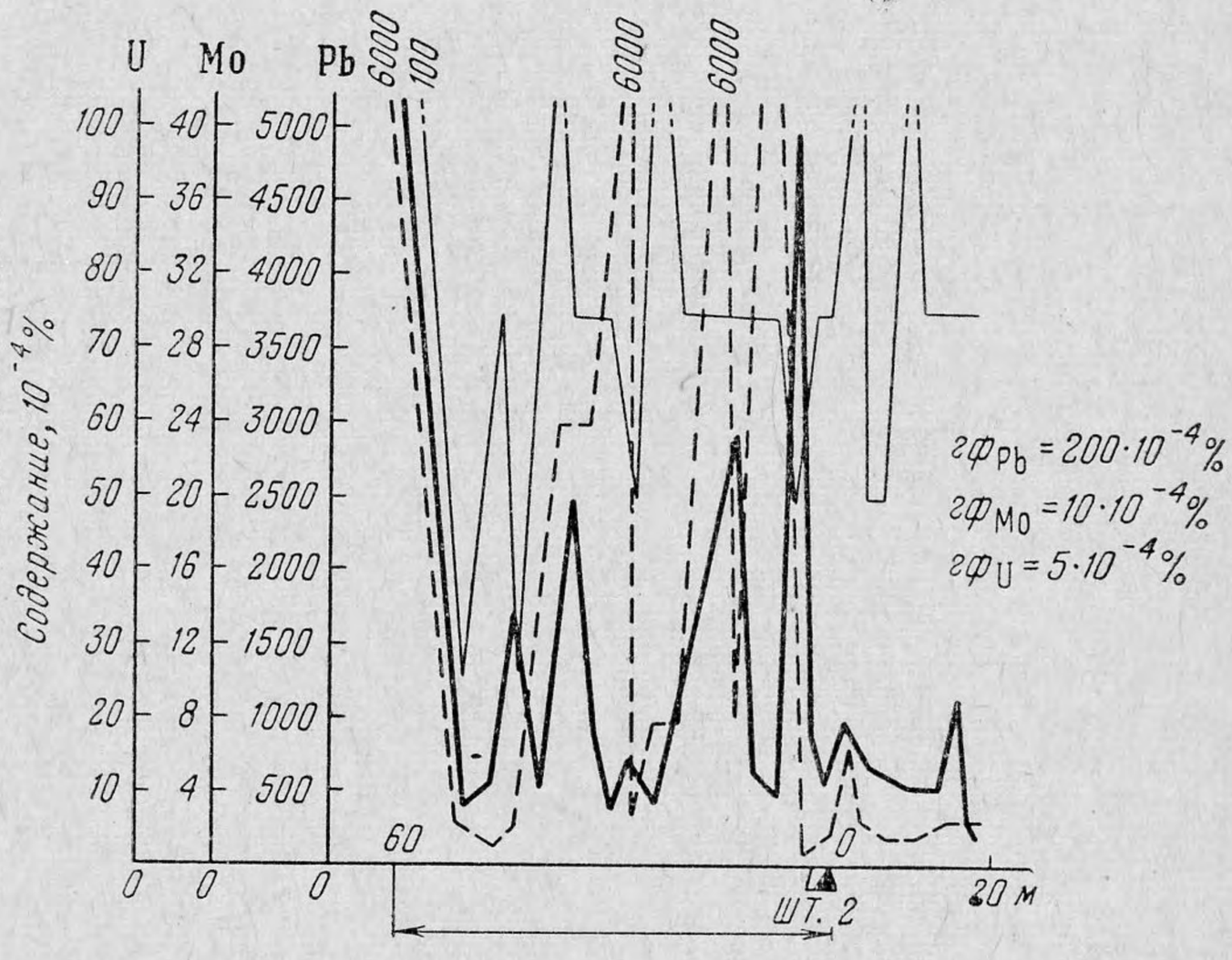
Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_U	$\frac{M_{Pb}}{M_U}$	$\frac{M_{Mo}}{M_U}$
Пр. 1	980—1050	156	30	570	0,27	0,05
Пр. 44	150— 190	4410	1970	920	4,8	2,14
Пр. 44	270— 340	3286	1460	130	25,2	11,2

МЕСТОРОЖДЕНИЕ II

РАЗРЕЗ VI-VI



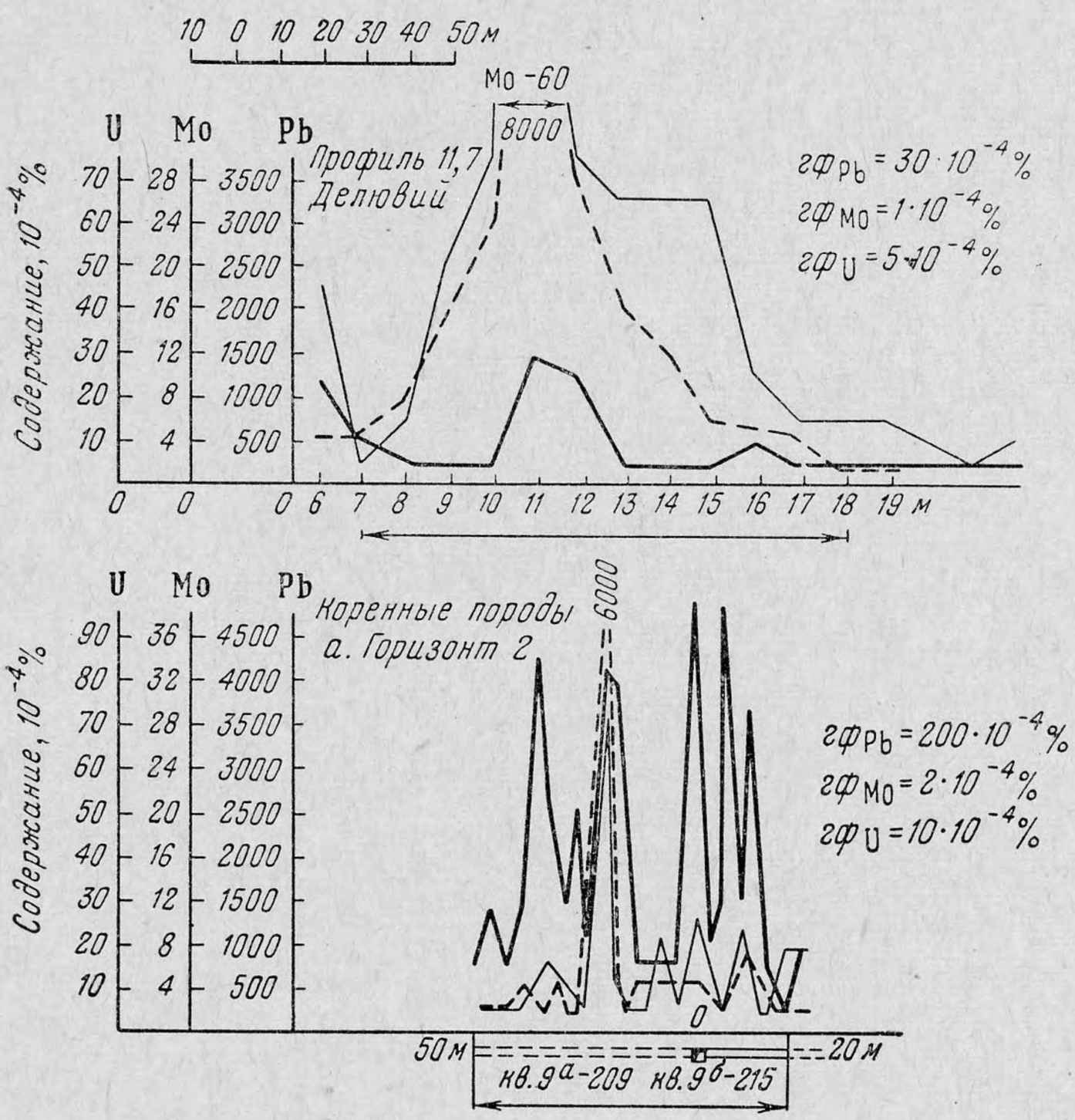




Горизонт	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_U	$\frac{M_{Pb}}{M_U}$	$\frac{M_{Mo}}{M_U}$
Делювий	90—250	4970	2660	480	10,4	5,54
Коренные на поверхности	120—230	890	33	298	3,0	0,11
Шт. 2	0—60	804	225	990	0,81	0,23

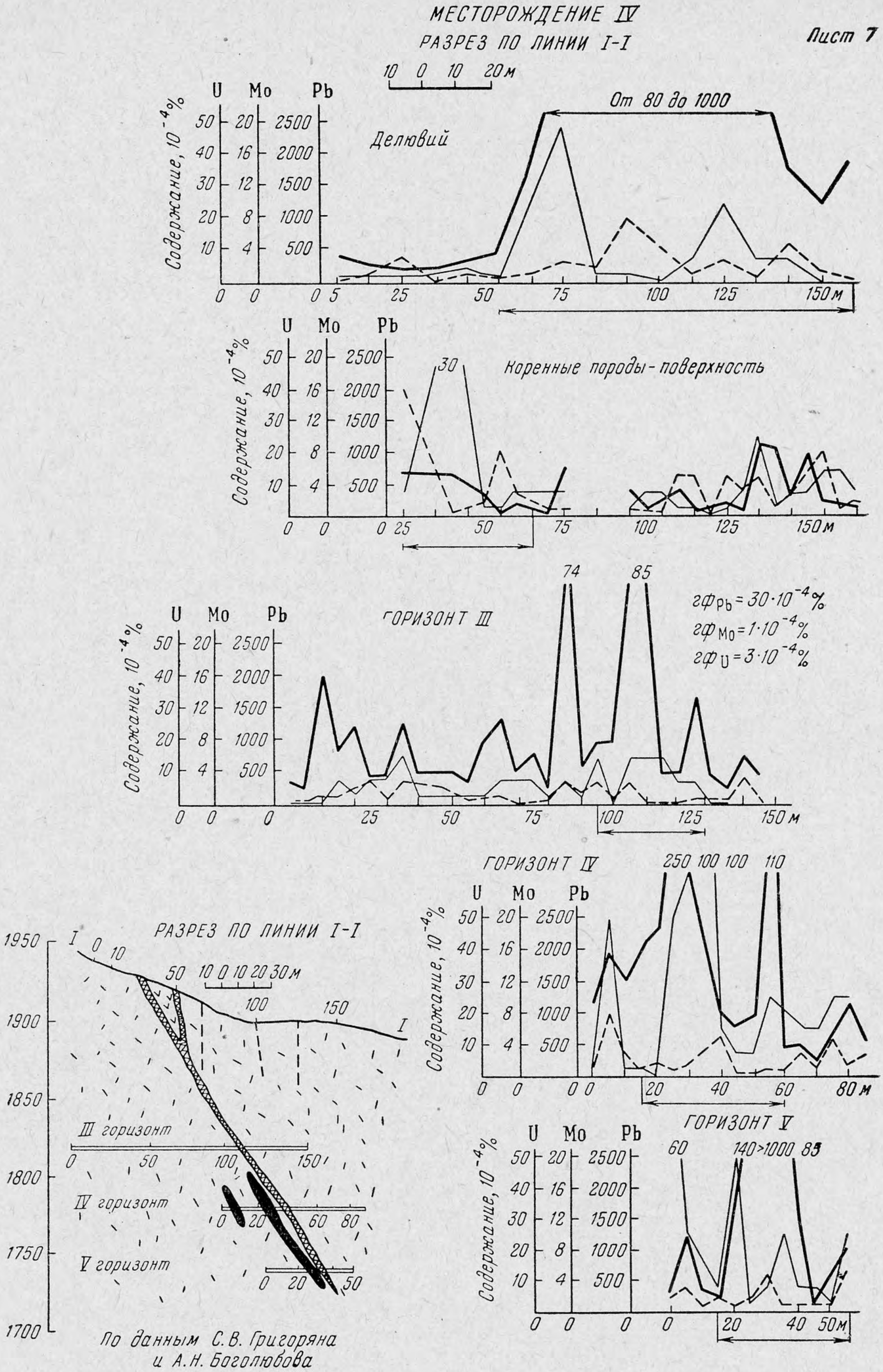
МЕСТОРОЖДЕНИЕ III

РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б



Опробование коренных пород по данным С.В. Григоряна

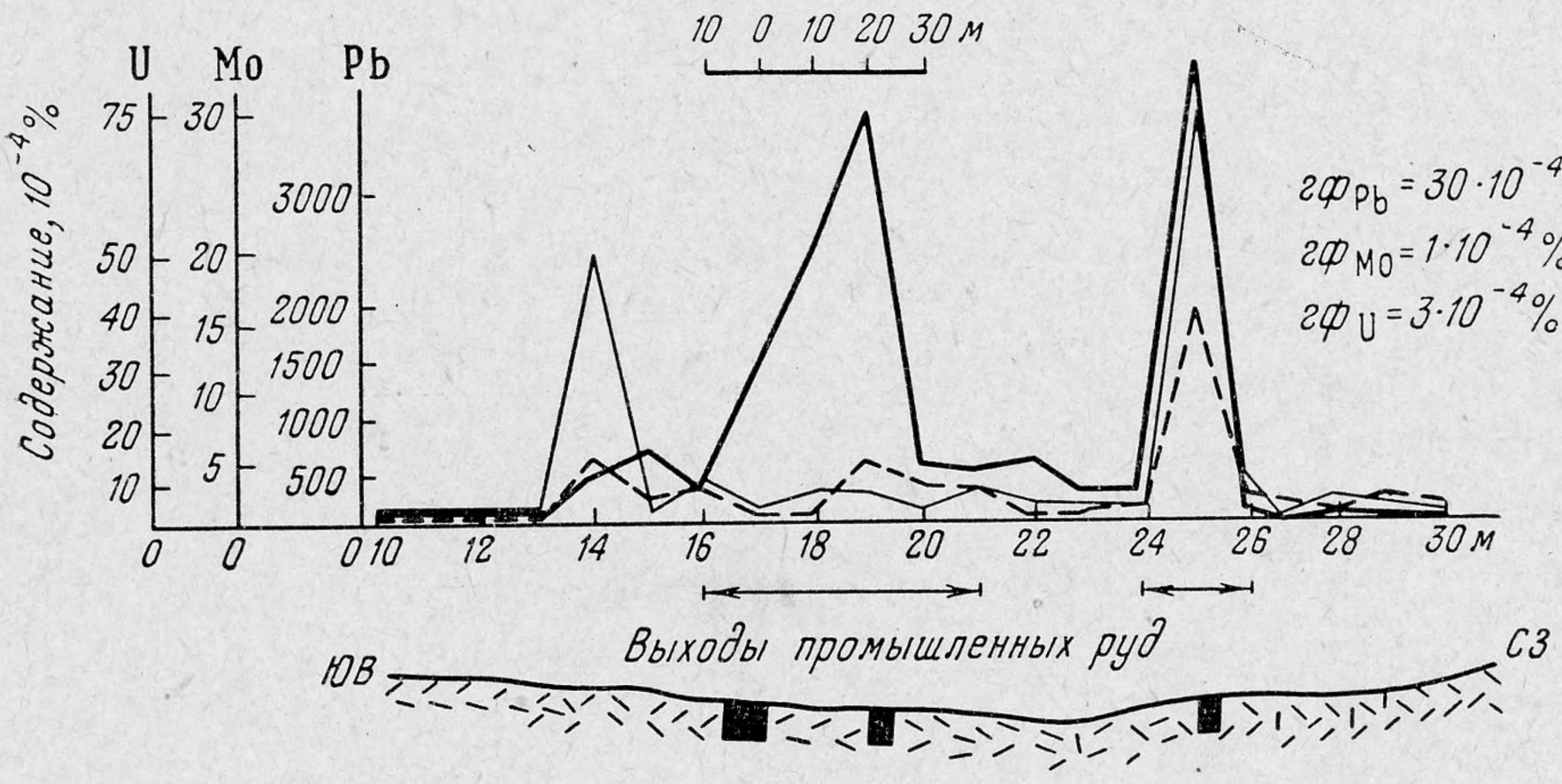
Горизонт	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
Делювий гор.2	7—18	7620	3020	110	69,2	27,4
Кв. 9а	0—50	220	179	126	1,75	1,4
Кв. 9б	0—20					
Гор. 3						
Кв. 9а	0—65	82	68	118	0,7	0,57
Кв. 9б	0—10					



По данным С.В. Григоряна и А.Н. Боголюбова

Горизонт	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_U	$\frac{M_{Pb}}{M_U}$	$\frac{M_{Mo}}{M_U}$
Поверхн. делювий	60—165	1666	410	9710	0,15	0,04
Кор. пор.	25—65	1270	340	290	4,37	1,17
Гор. III	95—125	140	115	405	0,34	0,28
Гор. IV	15—60	203	710	905	0,22	0,78
Гор. V	15—55	310	280	2090	0,15	0,13

МЕСТОРОЖДЕНИЕ V

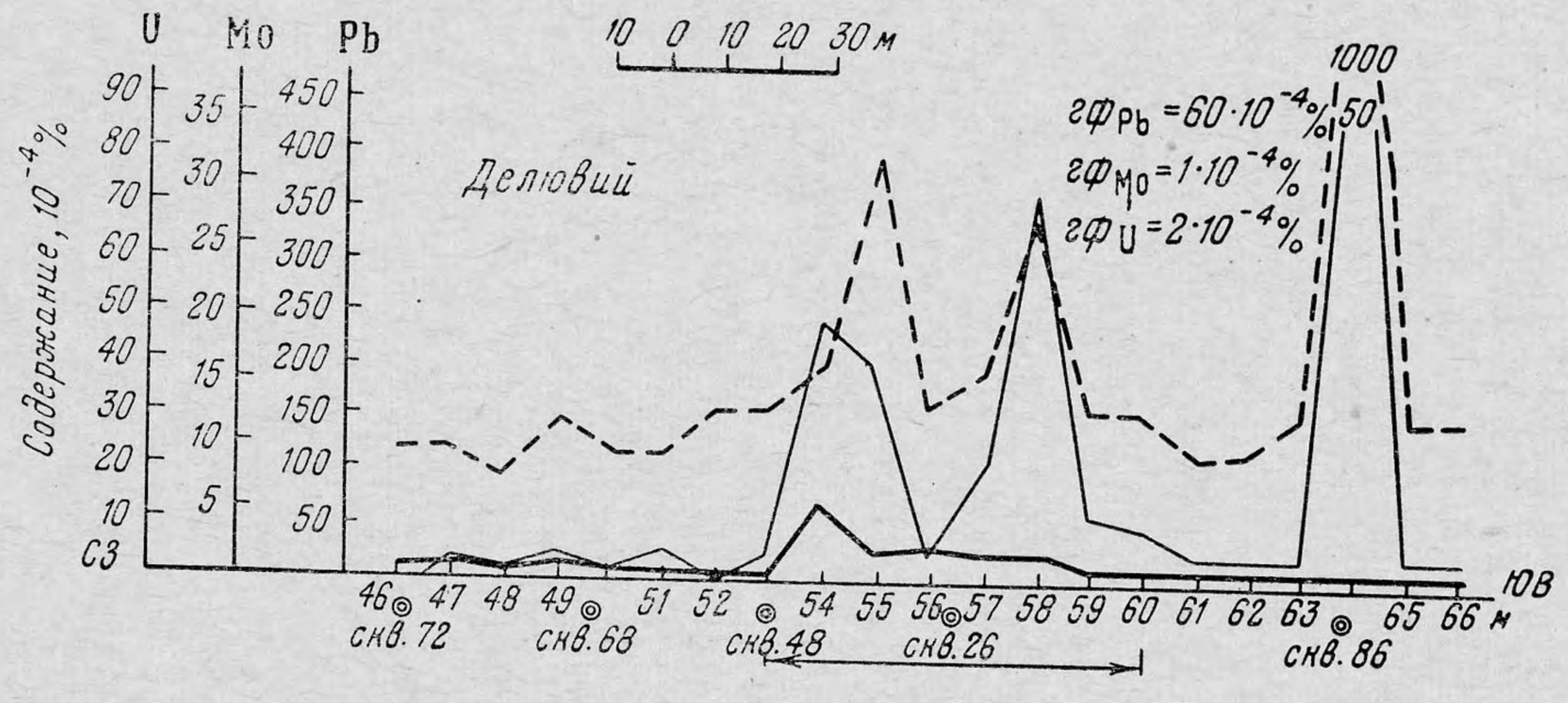


Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
II	16—21	330	40	520	0,63	0,08
II	24—26	149	56	83	1,79	0,68

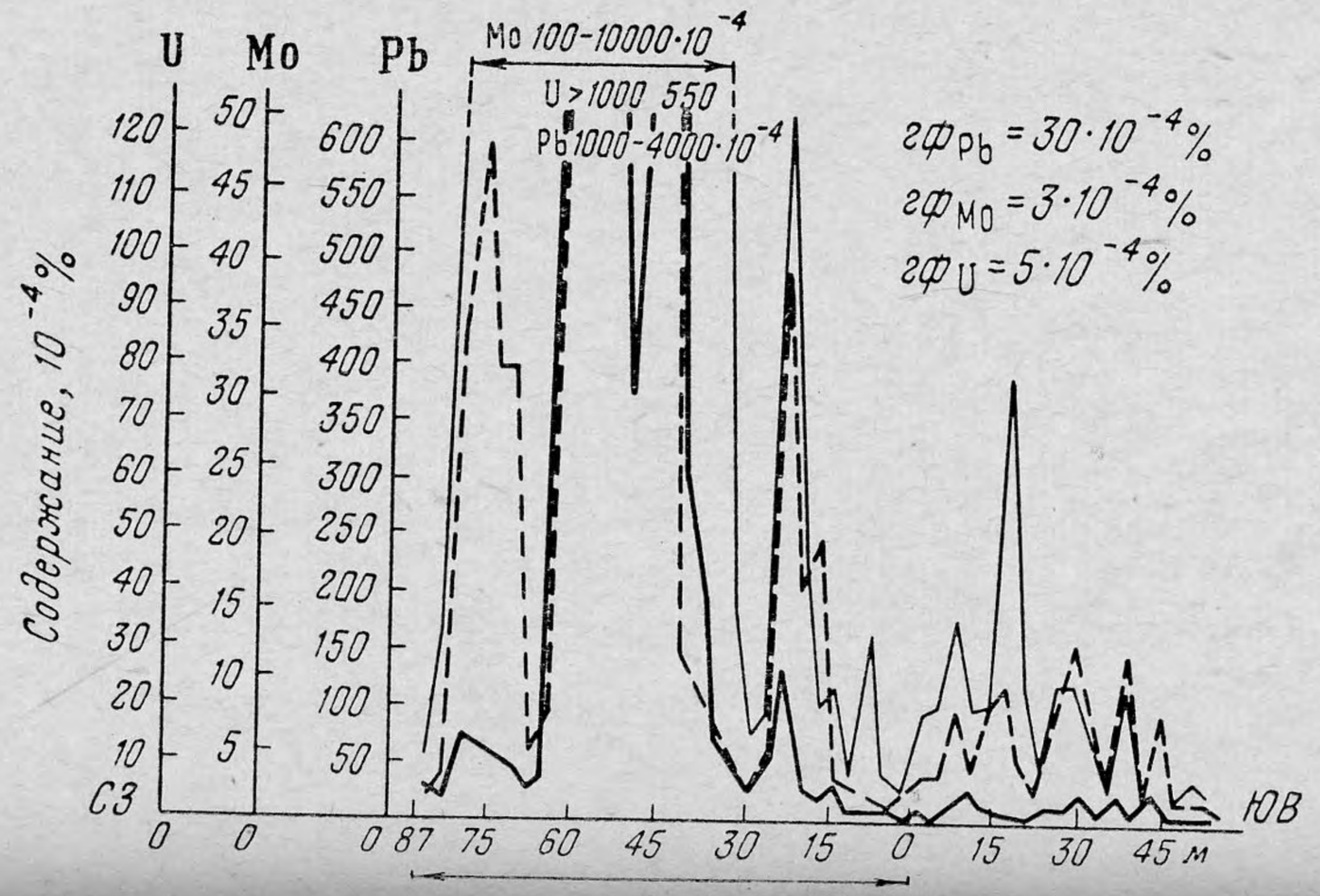
Лист 9

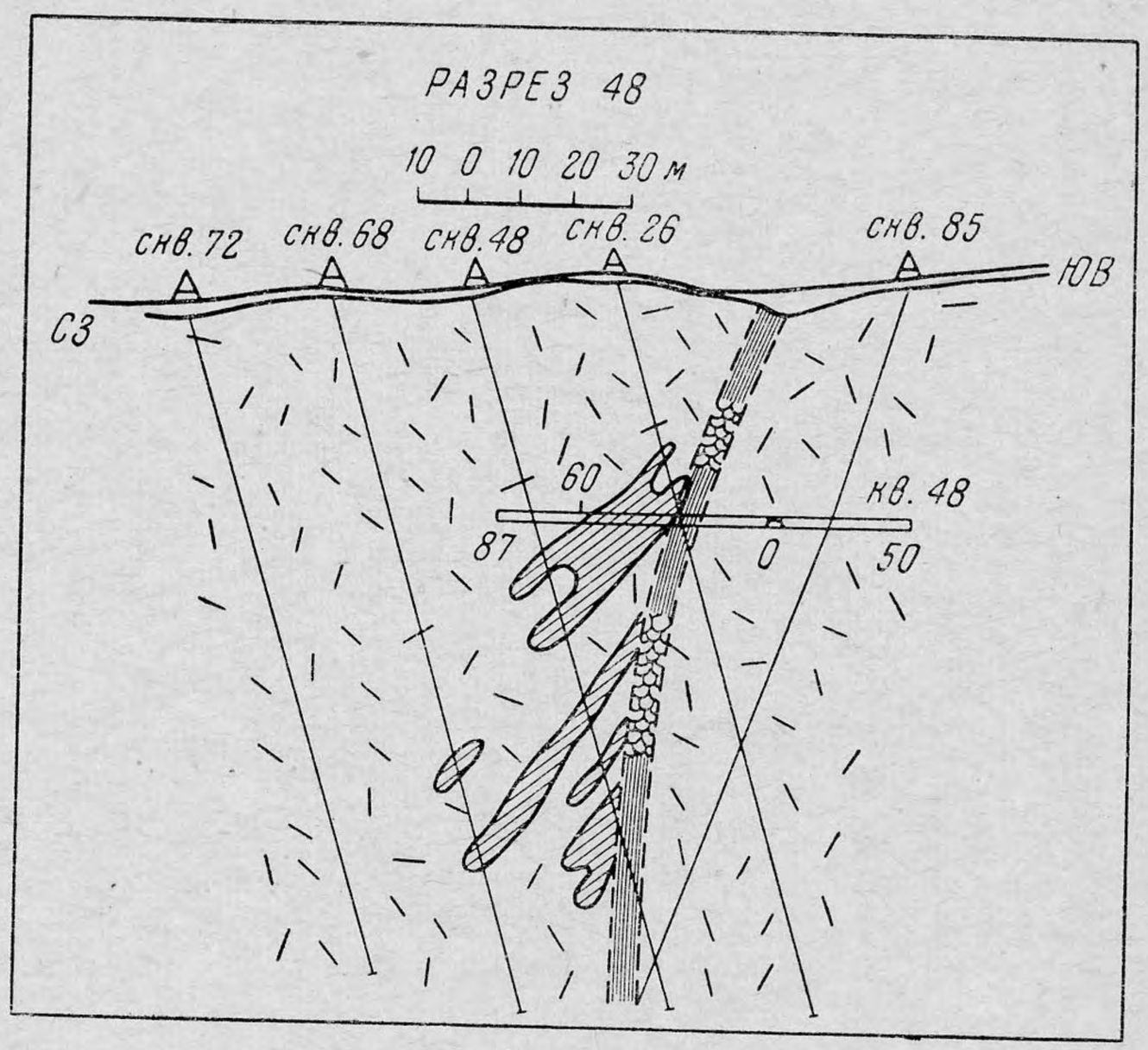
МЕСТОРОЖДЕНИЕ VI

РАЗРЕЗ 48



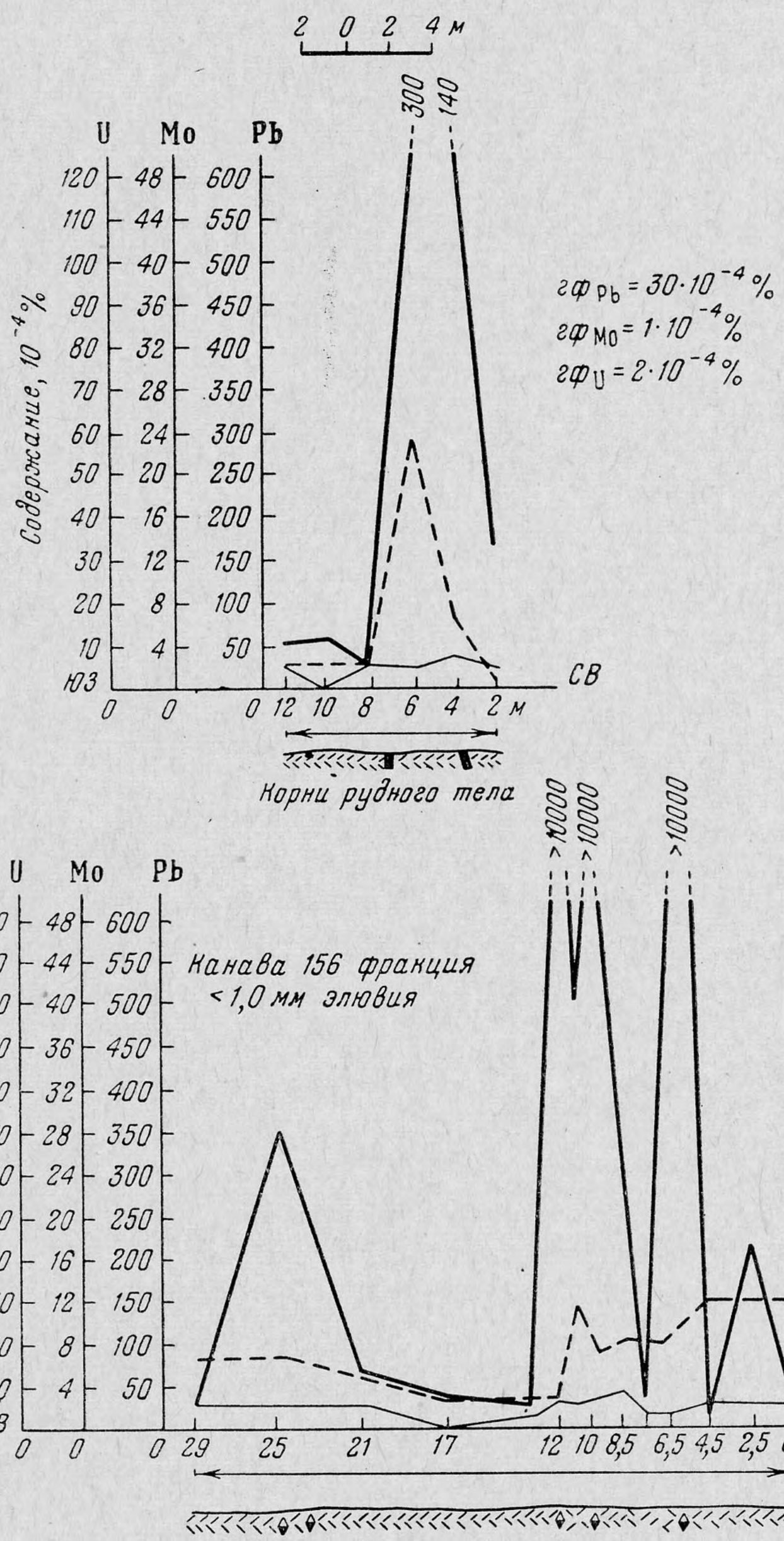
Коренные породы
Квершлаг 48





Горизонт	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
Делювий	53—60	187	810	135	1,47	6,0
Кв. 48	0—87	1956	36 336	2340	0,83	15,5

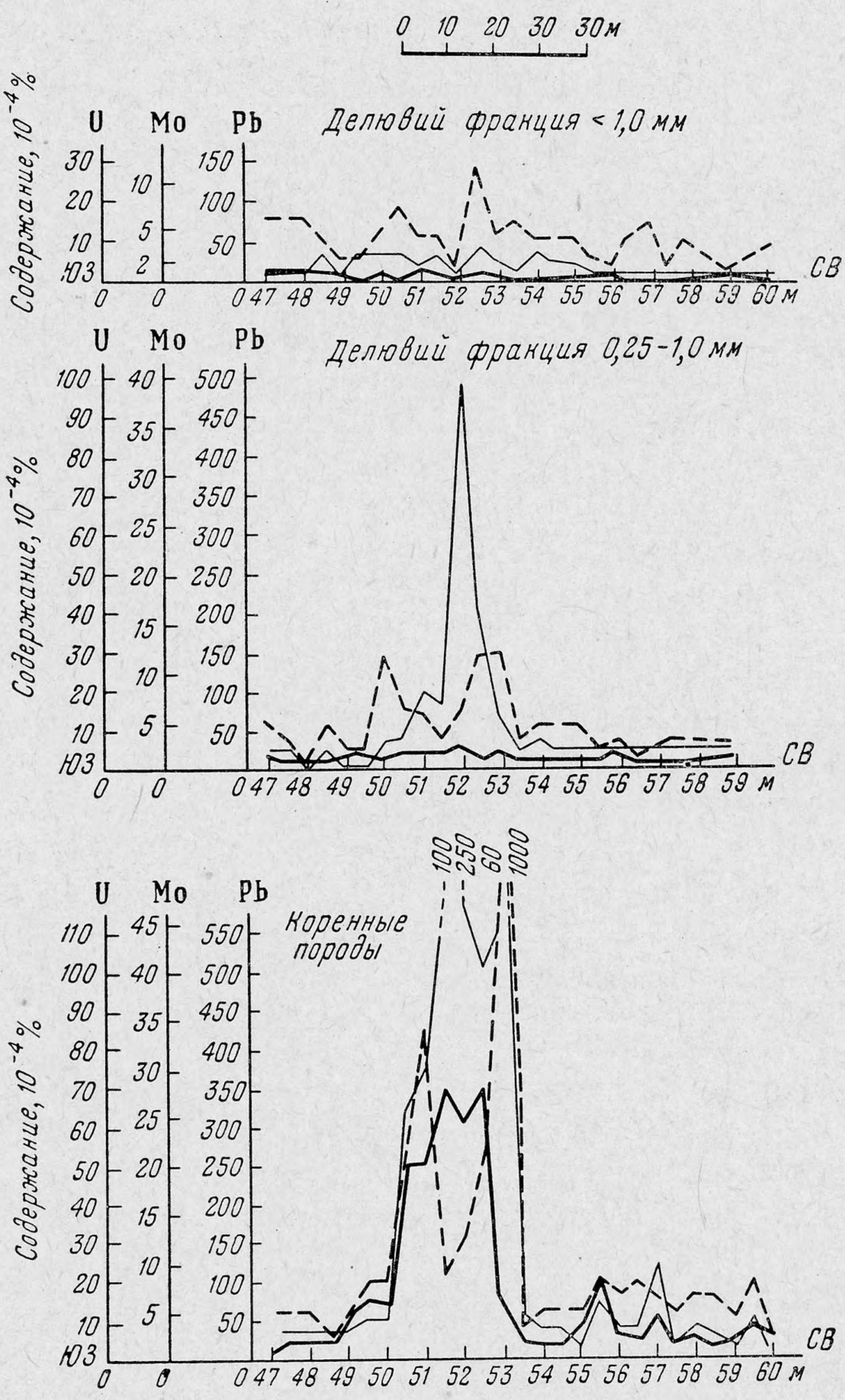
МЕСТОРОЖДЕНИЕ VI



Выработка	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
Канава 132а	2—12	22	12	494	0,05	0,02
Канава 156	0,5—29	58	24	~15 102	0,004	0,002

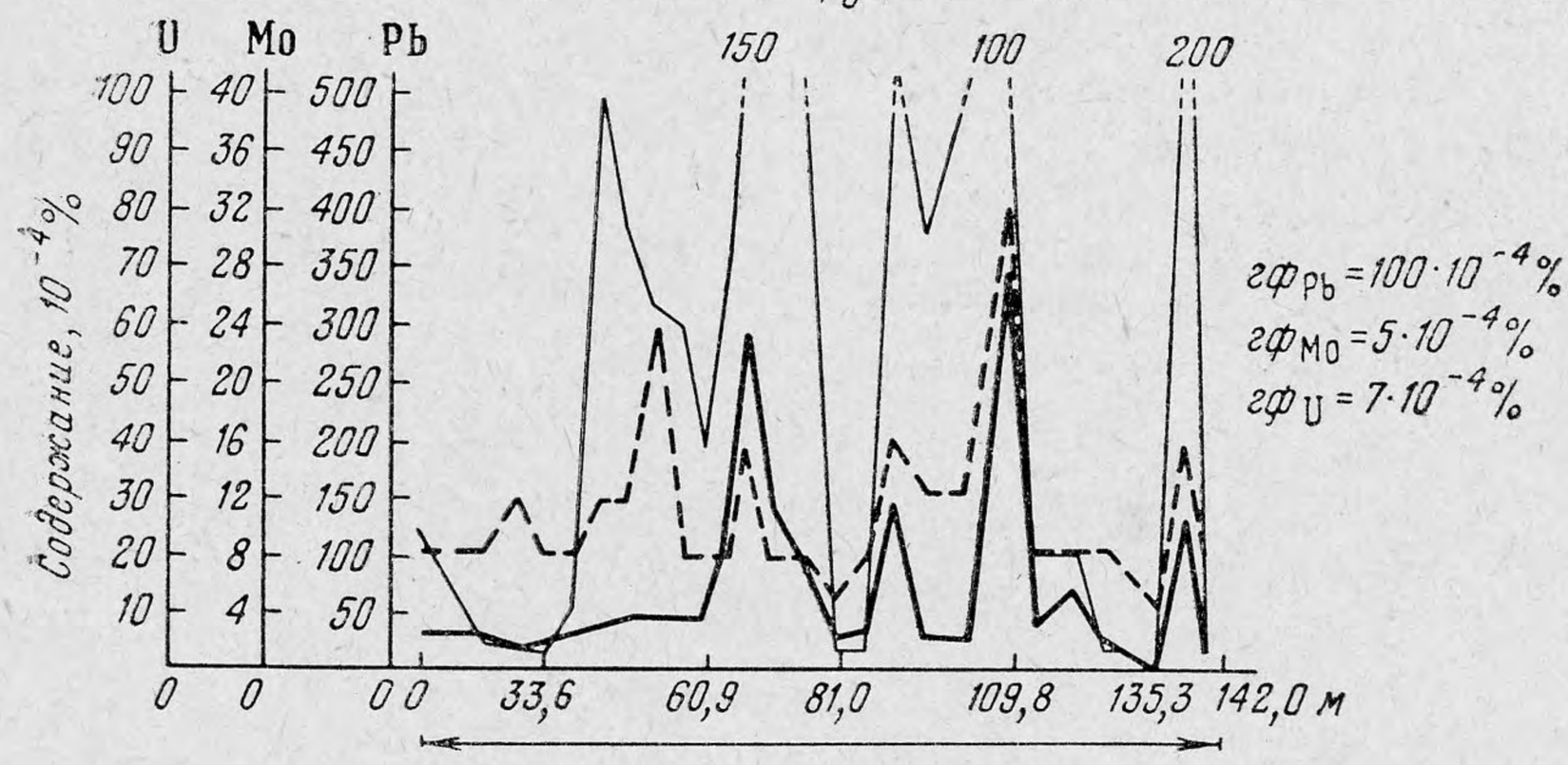
МЕСТОРОЖДЕНИЕ VI

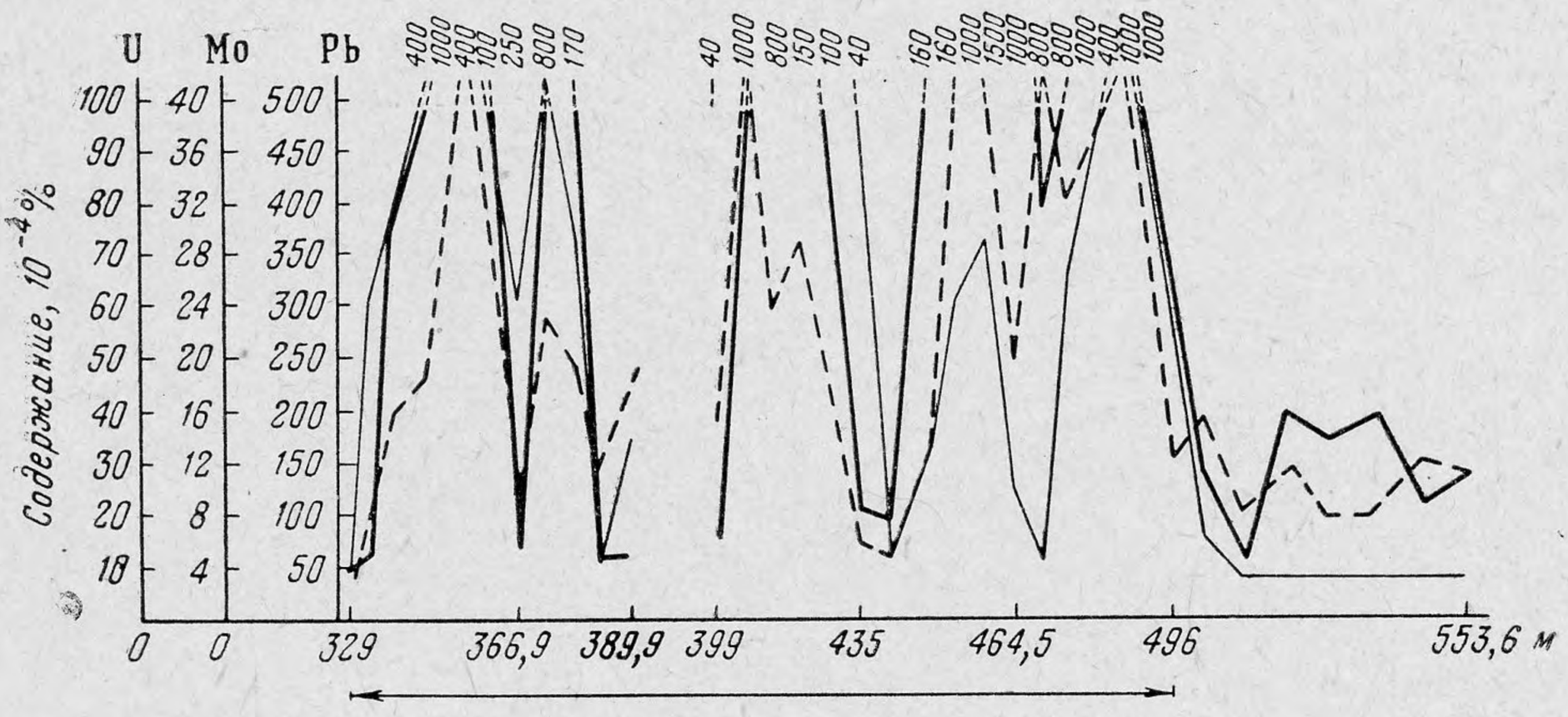
КАНАВА 758

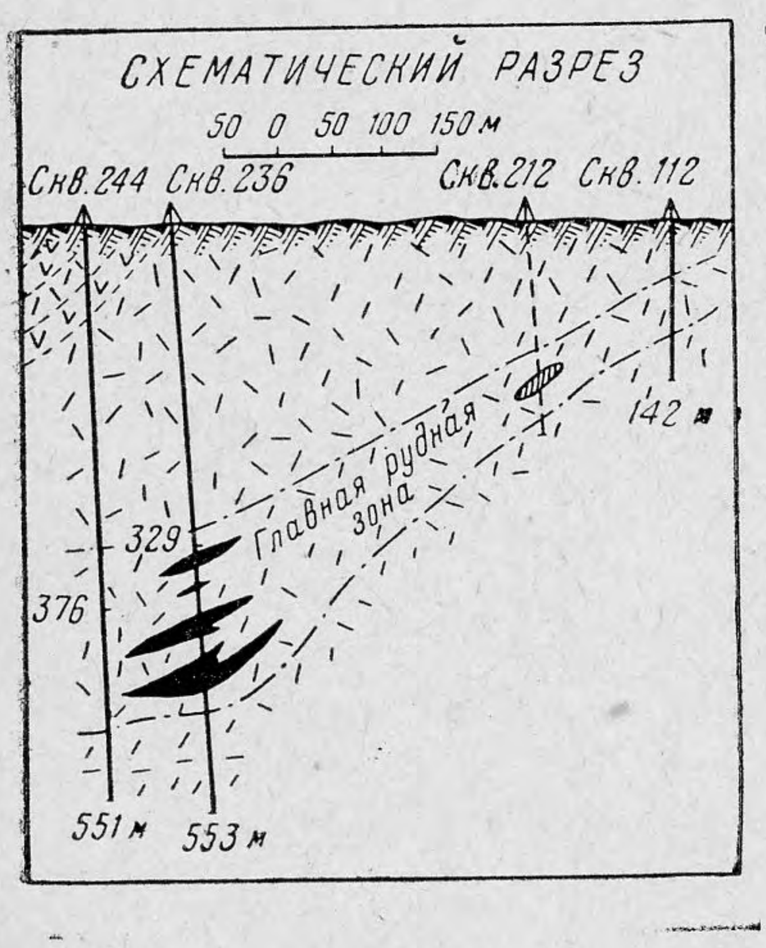


МЕСТОРОЖДЕНИЕ VII

Опробование керна скважин



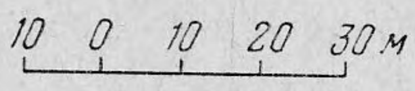


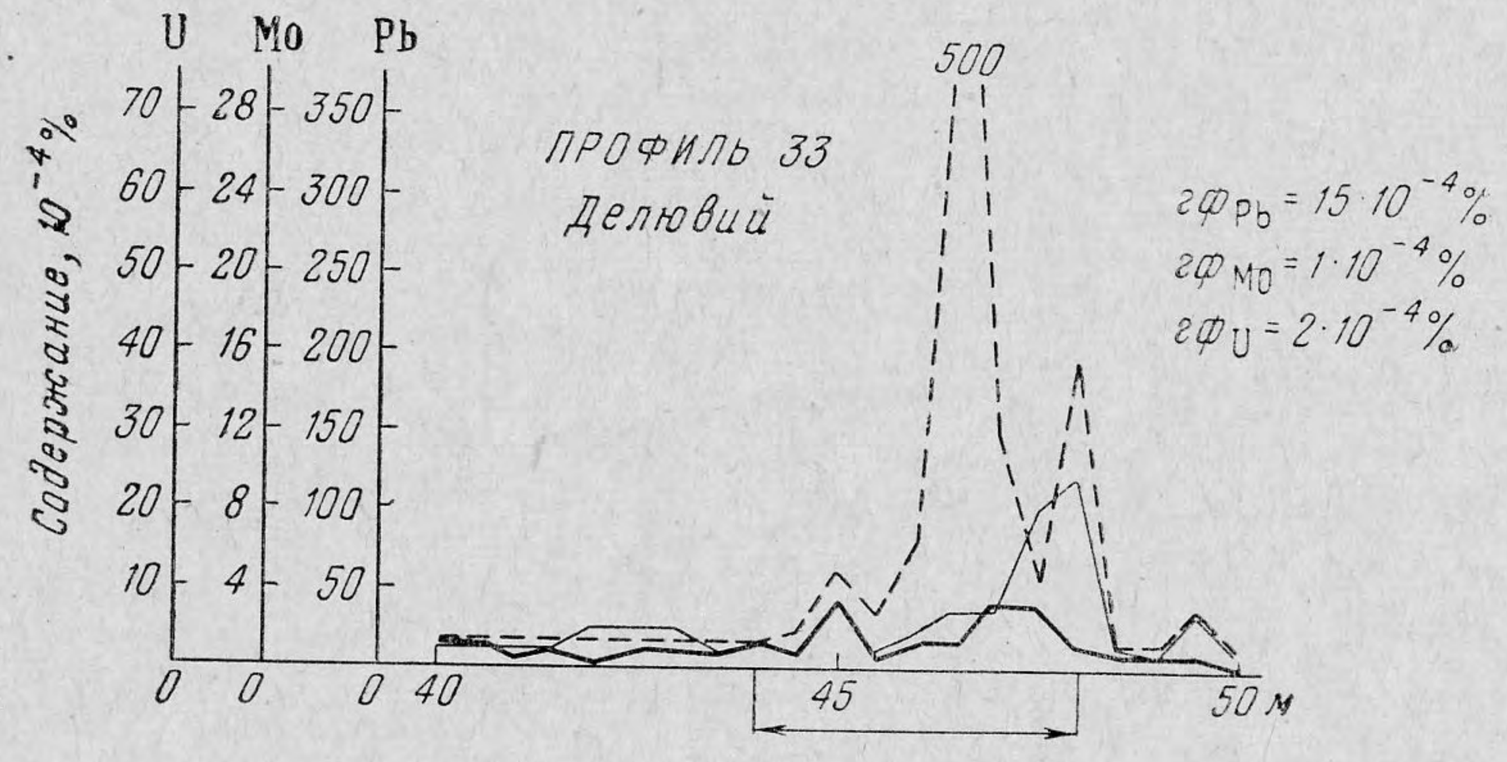




Номер скважины	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
112	0—142	52	981	157	0,33	6,2
236	329—396	560	2792	9234	0,06	0,3
244	376—551	0	0	730	0	0

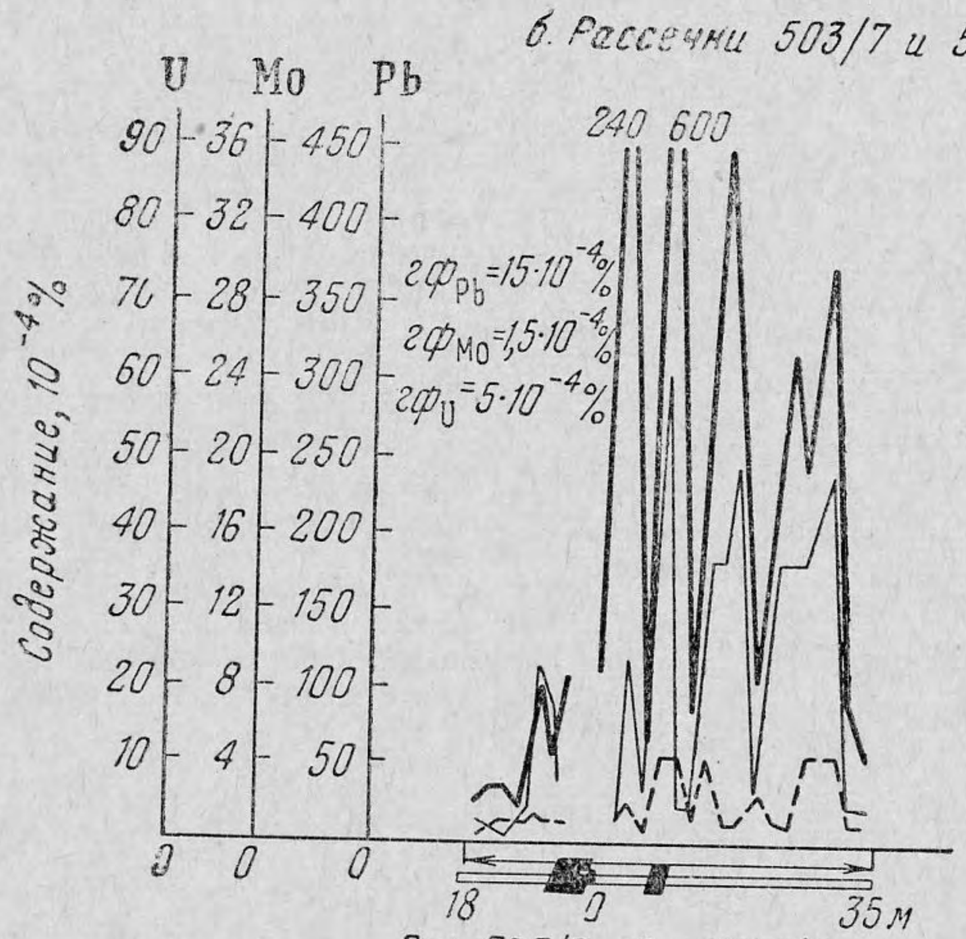
МЕСТОРОЖДЕНИЕ VIII





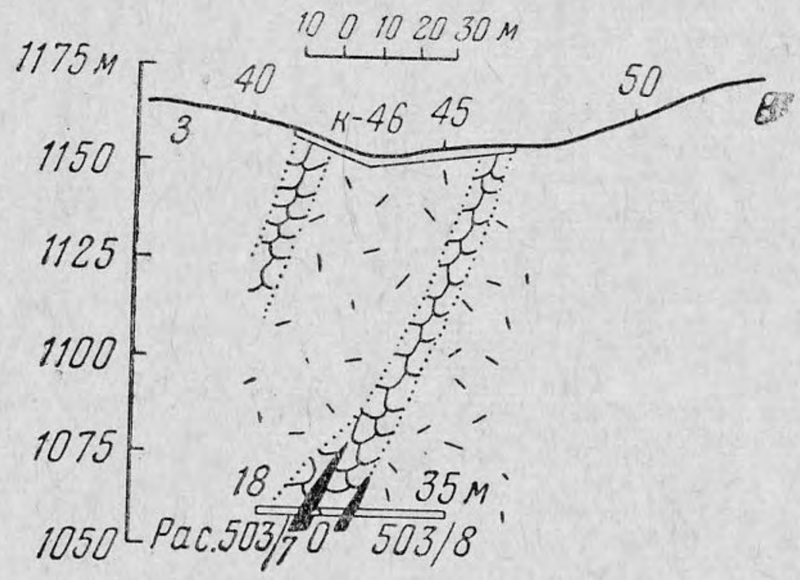


б. Рассечки 503/7 и 503/8



Рас. 503/7 Рас. 503/8

СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ПРОФИЛЮ 33



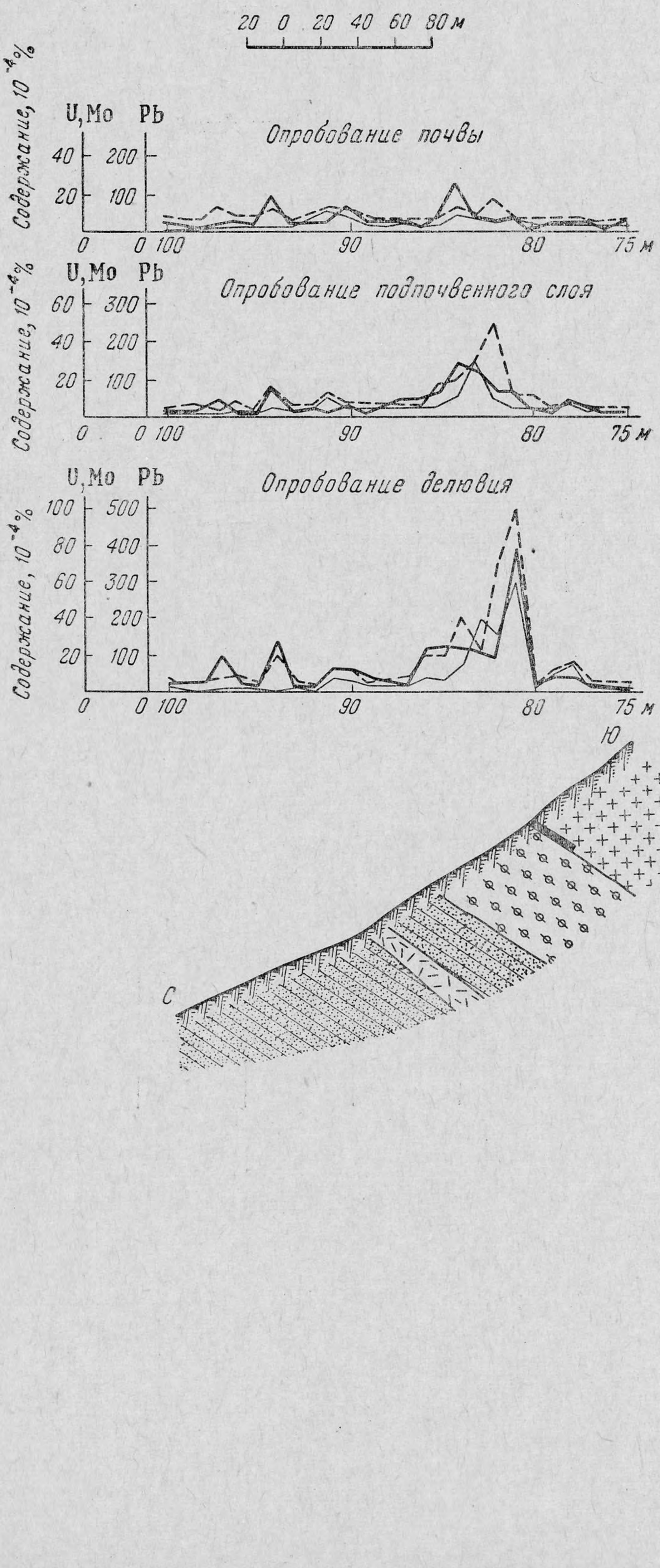
По Н.А. Ворошилову и Л.Т. Мишину

Профиль, выработка	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_U	$\frac{M_{Pb}}{M_U}$	$\frac{M_{Mo}}{M_U}$
Пр. 33	44—48	395	119	100	3,95	1,19
Канава 46	45—48	66	103	33	2,0	5,5
Рассечка 503/7—503/8	18—0—35	86	245	871	1,0	0,28

Лист 14

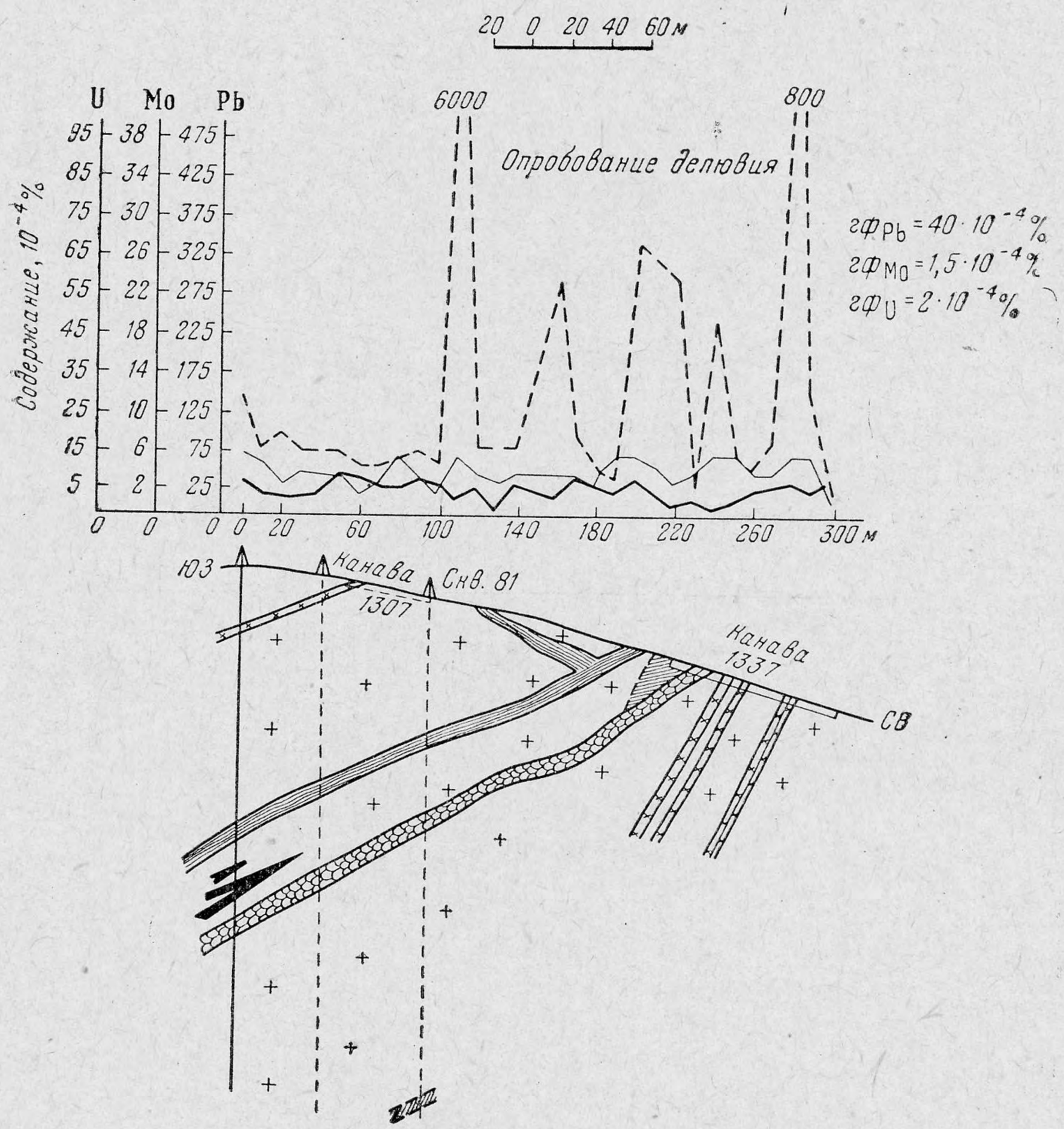
МЕСТОРОЖДЕНИЕ IX

ПРОФИЛЬ 116

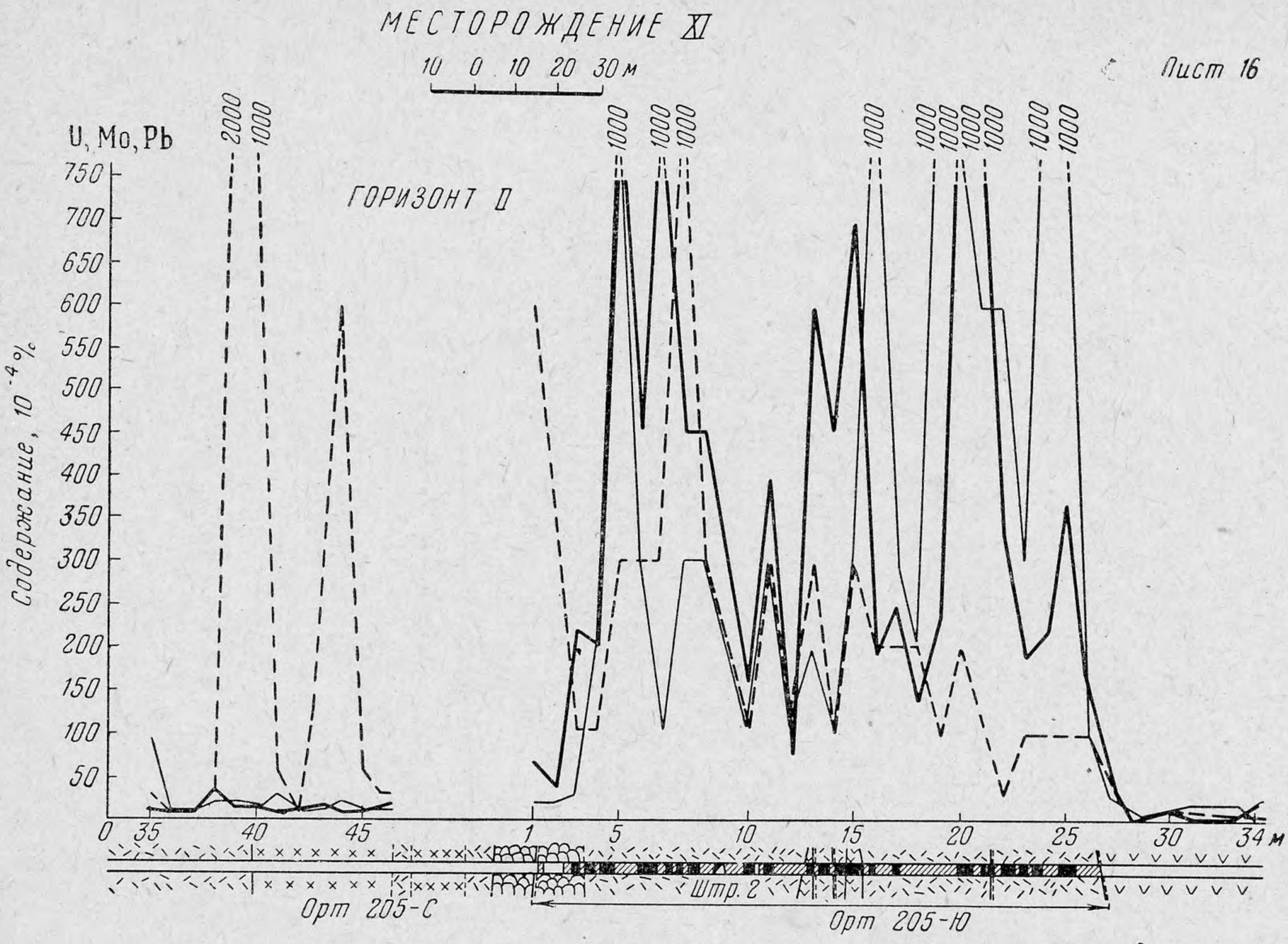


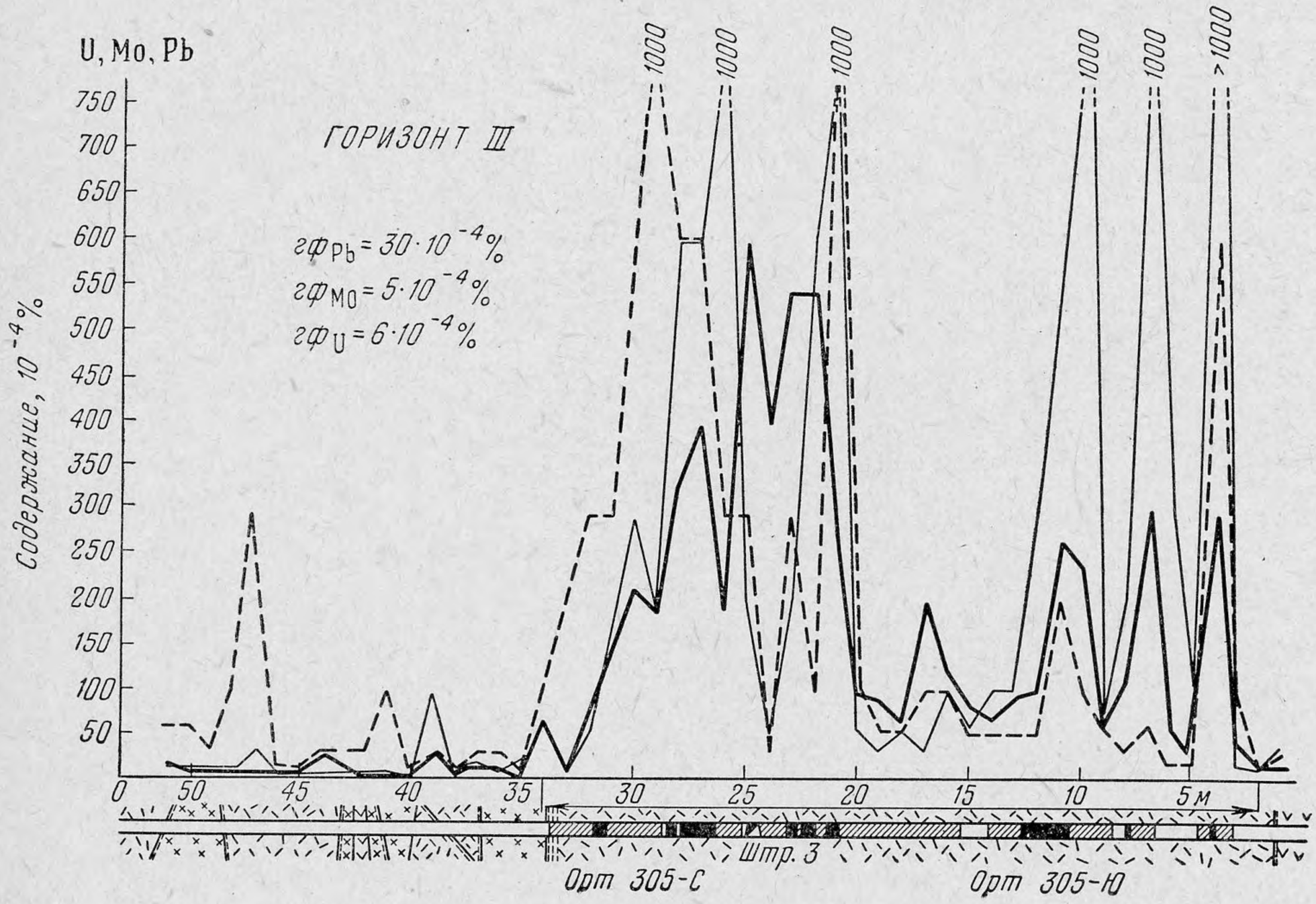
МЕСТОРОЖДЕНИЕ X

ПРОДОЛЖЕНИЕ РАЗРЕЗА VI–VI НА СЗ



Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_U	$\frac{M_{Pb}}{M_U}$	$\frac{M_{Mo}}{M_U}$
100—300	2150	400	320	6,7	1,25





Горизонт	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_U	$\frac{M_{Pb}}{M_U}$	$\frac{M_{Mo}}{M_U}$
II	1—26	678	11 255	8 108	0,08	1,39
III	1—34	908	19 105	5 028	0,18	3,78

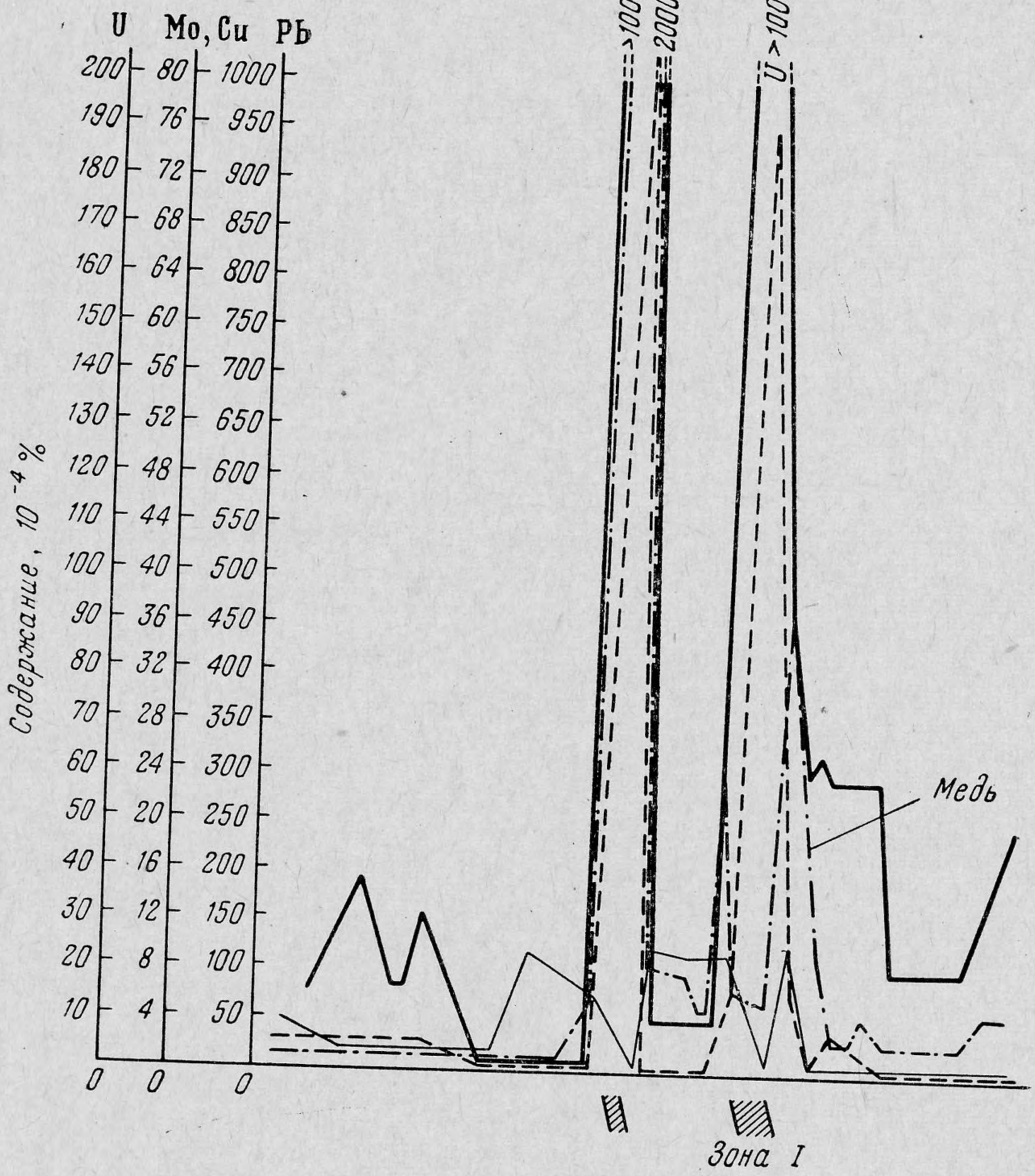
МЕСТОРОЖДЕНИЕ XII

РУДНАЯ ЗОНА 1

Лист 17

10 0 10 20 м

Опробование по основному квершлагу



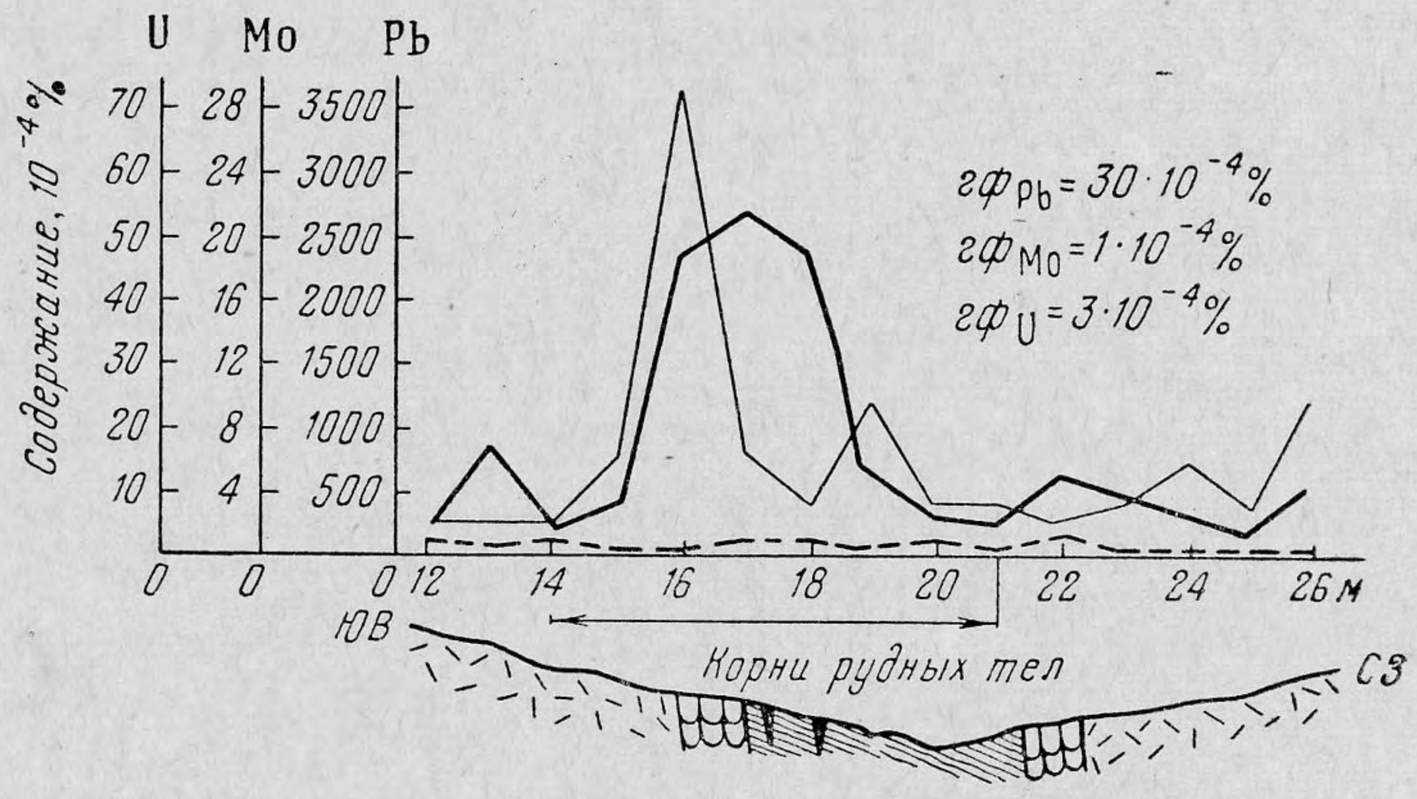
По данным Гречишниковой З. М.

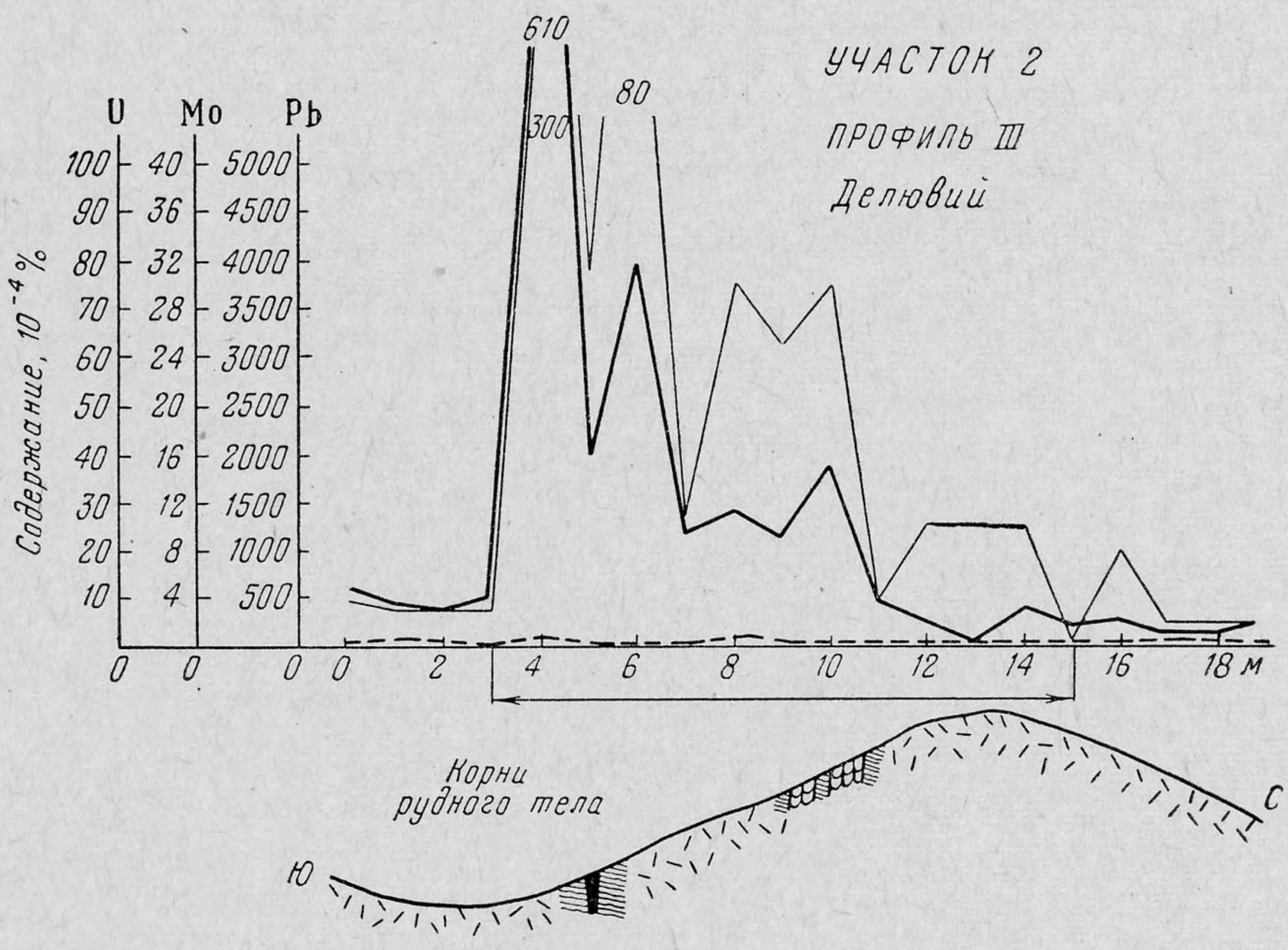
УЧАСТОК 1

10 0 10 20 30 м

ПРОФИЛЬ X

Делювий



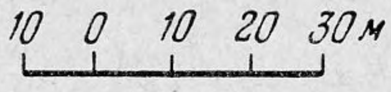


УЧАСТОК 2

ПРОФИЛЬ III

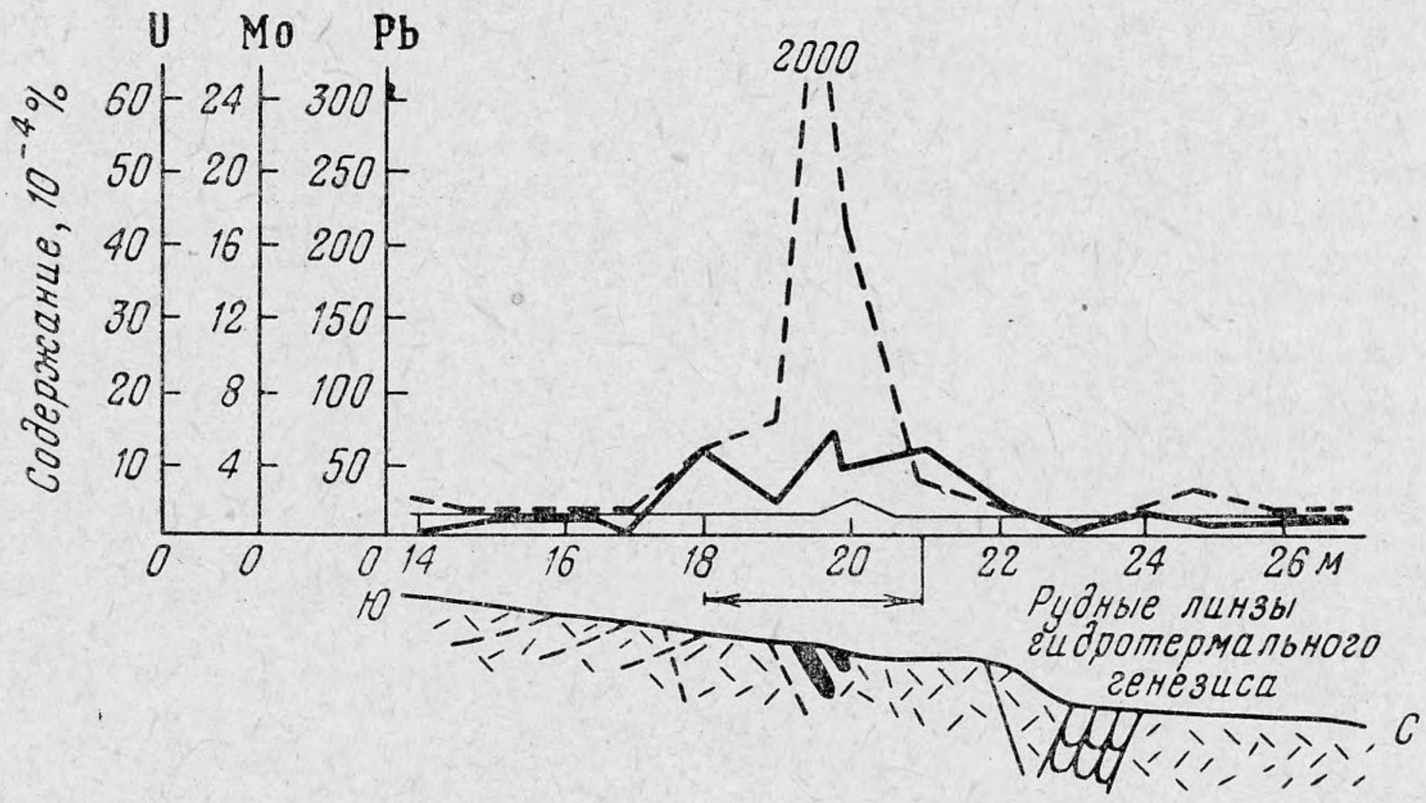
Делювий

Участок	Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
1	X	14—21	50	550	538	0,09	1,03
2	III	3—15	0	5470	8720	0	0,66



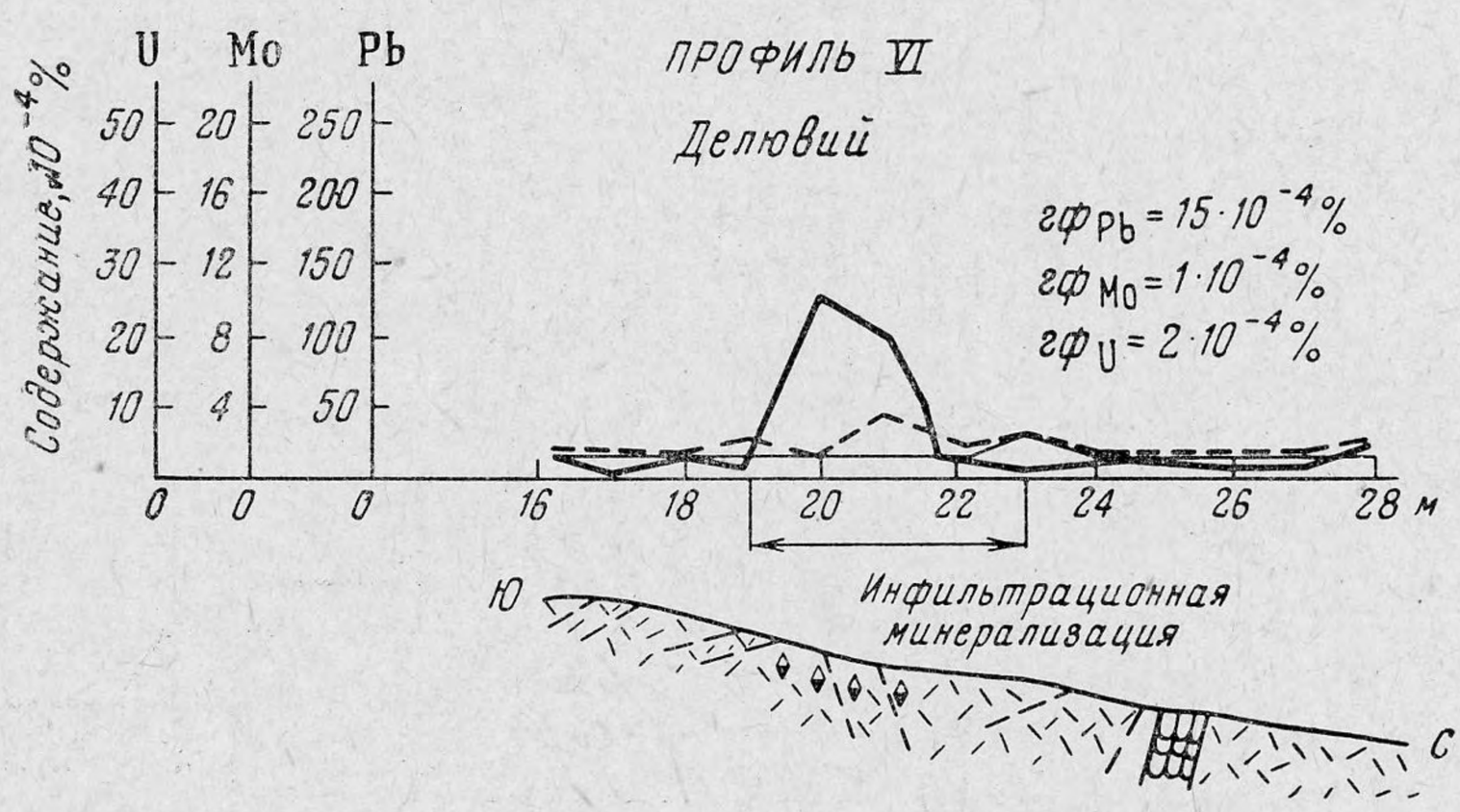
ПРОФИЛЬ II

Делювий



ПРОФИЛЬ VI

Делювий



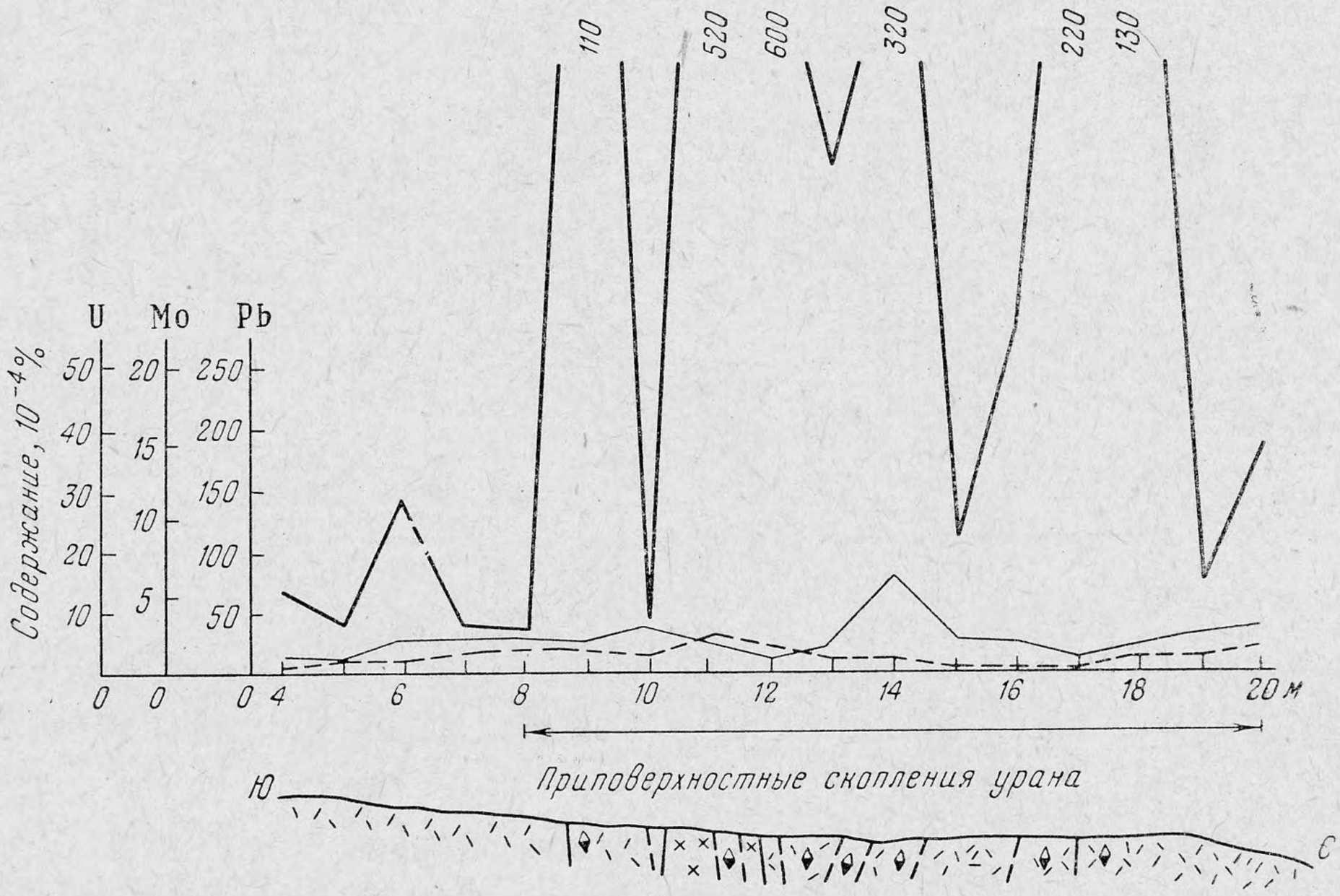
Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
II	18—21	1537	10	203	7,57	0,05
VI	19—23	80	10	200	0,15	0,05

УЧАСТОК 4

10 0 10 20 м

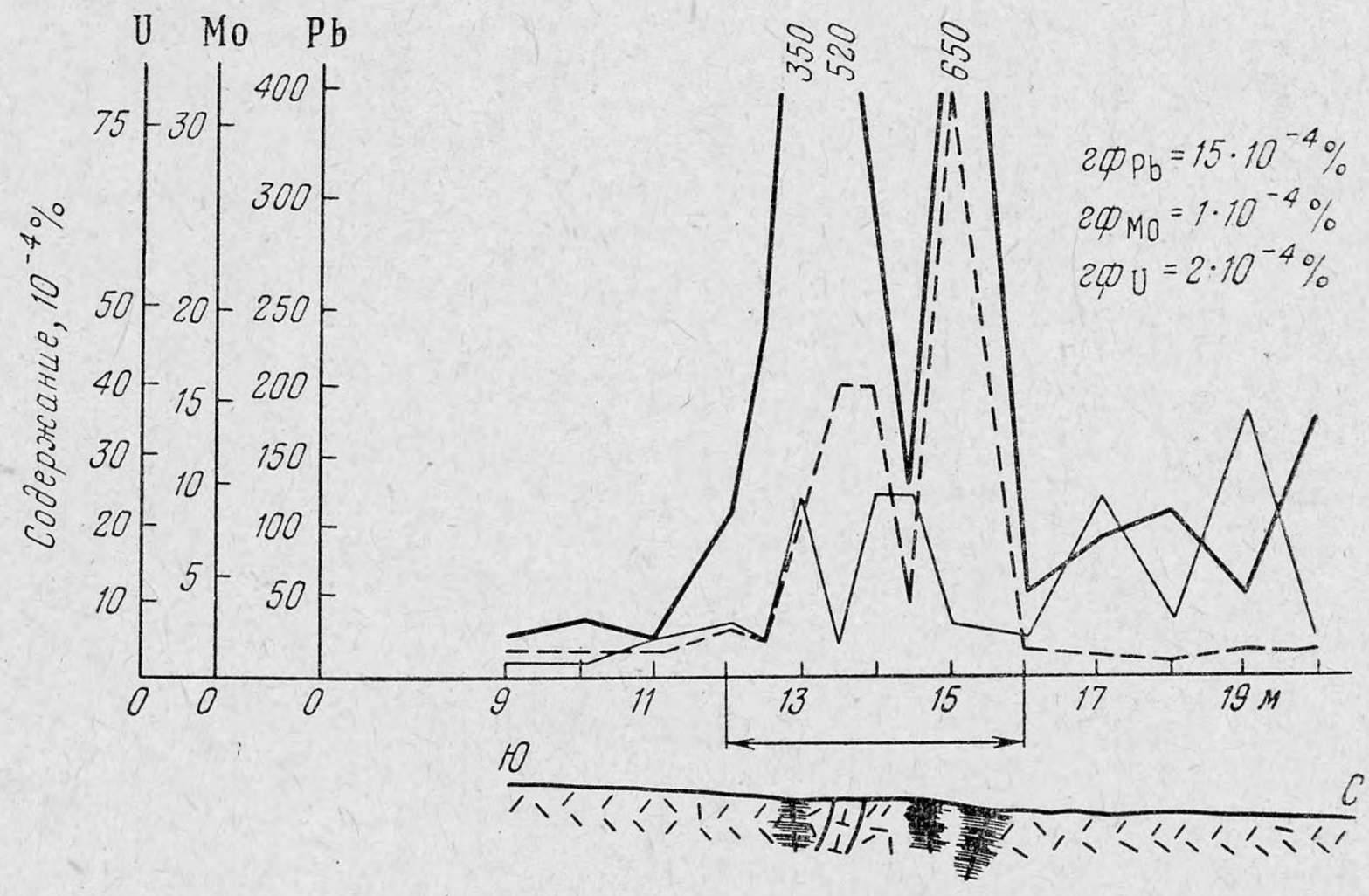
ПРОФИЛЬ 5

Опробование делювия



ПРОФИЛЬ 10

Опробование делювия



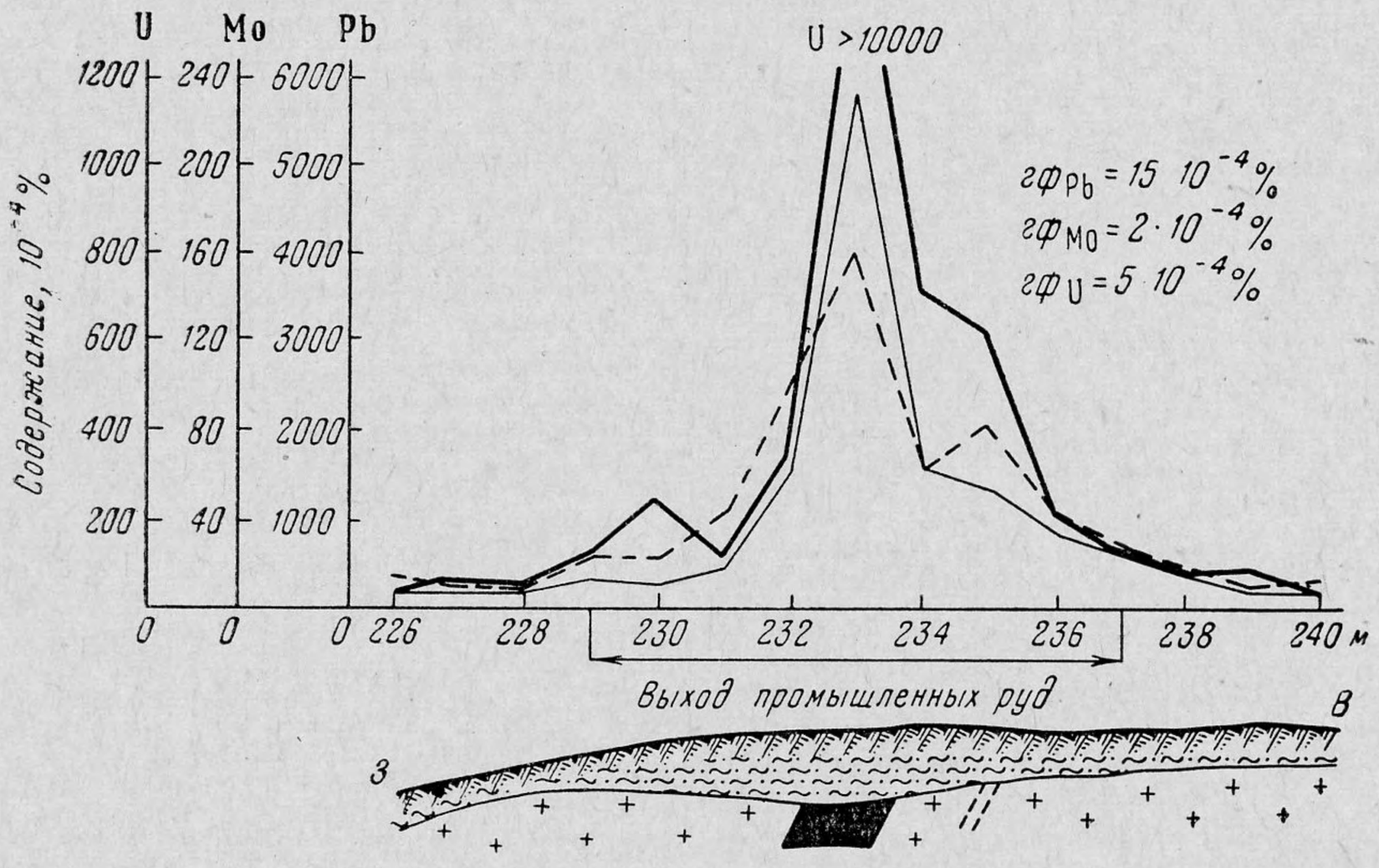
Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
5	8—20	0	200	5940	0	0,03
10	12—16	300	165	4720	0,06	0,04

УЧАСТОК 5

ПРОФИЛЬ 1

2 0 2 4 6 8 м

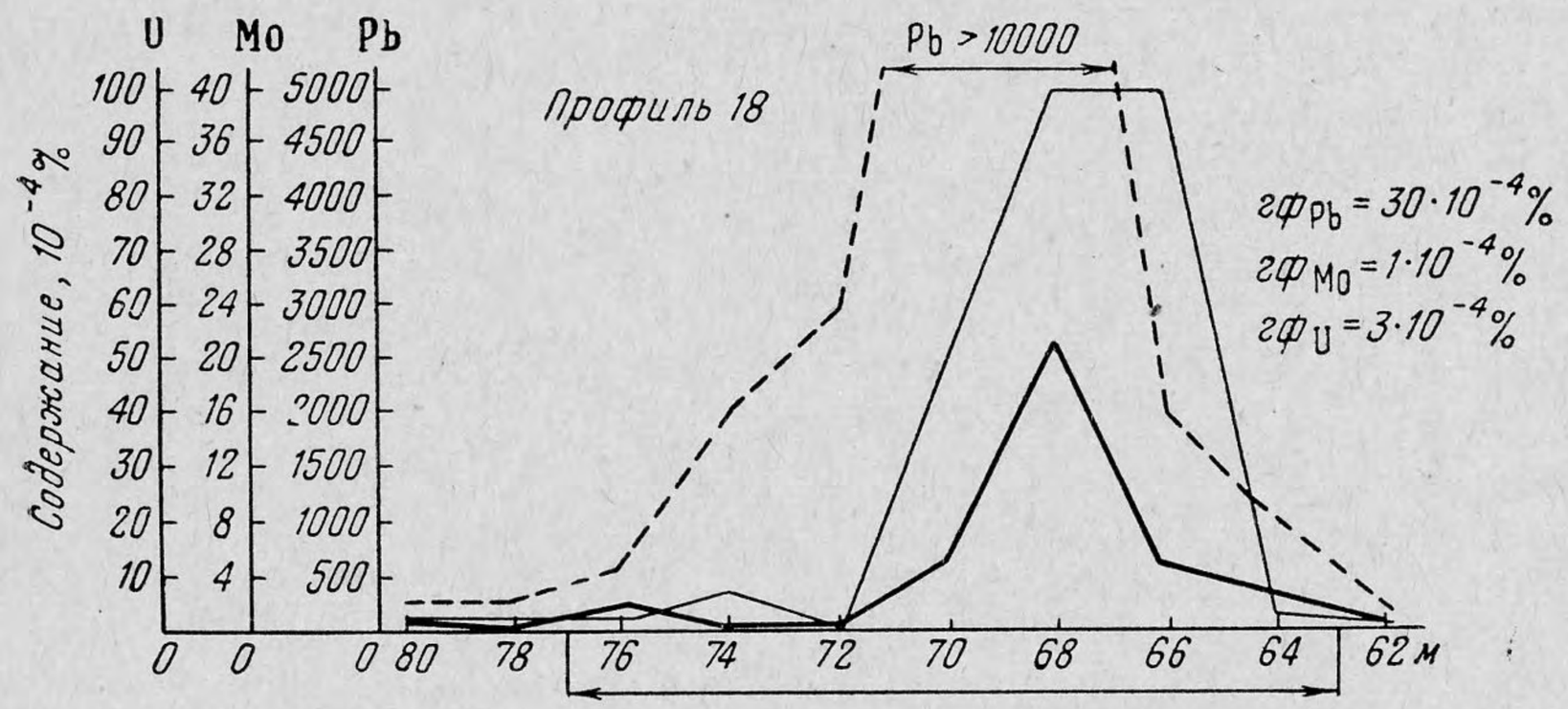
Опробование делювия



Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
1	229—237	2643	732	3324	0,79	0,22

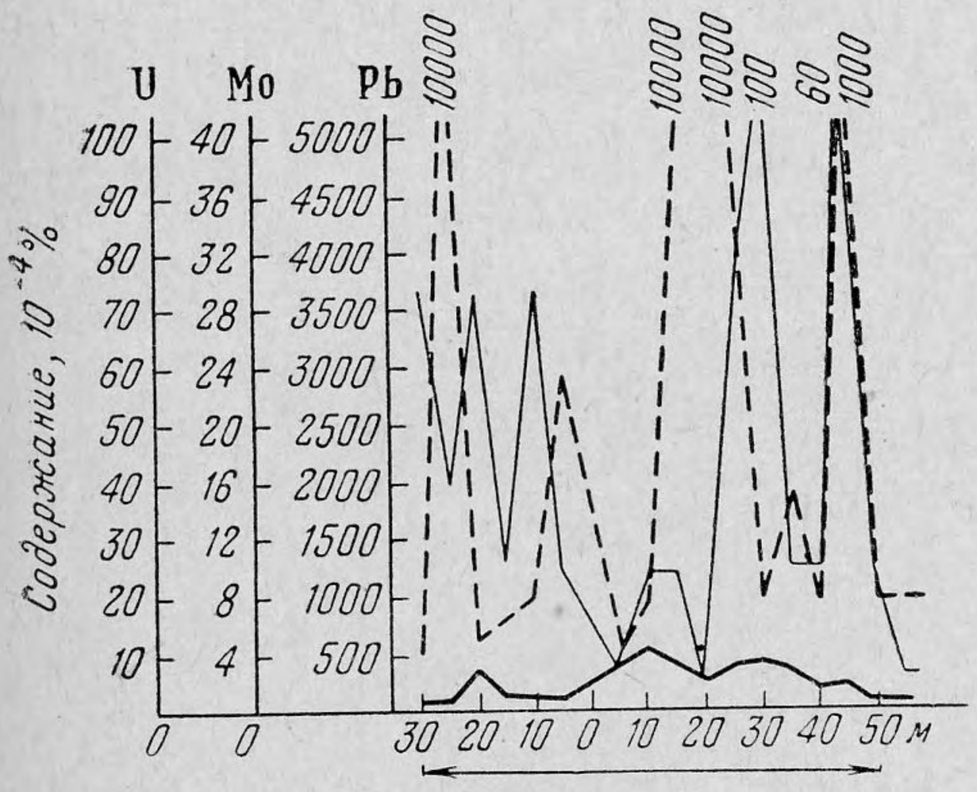
ЗАМБАРАК (Pb)

РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ В-В

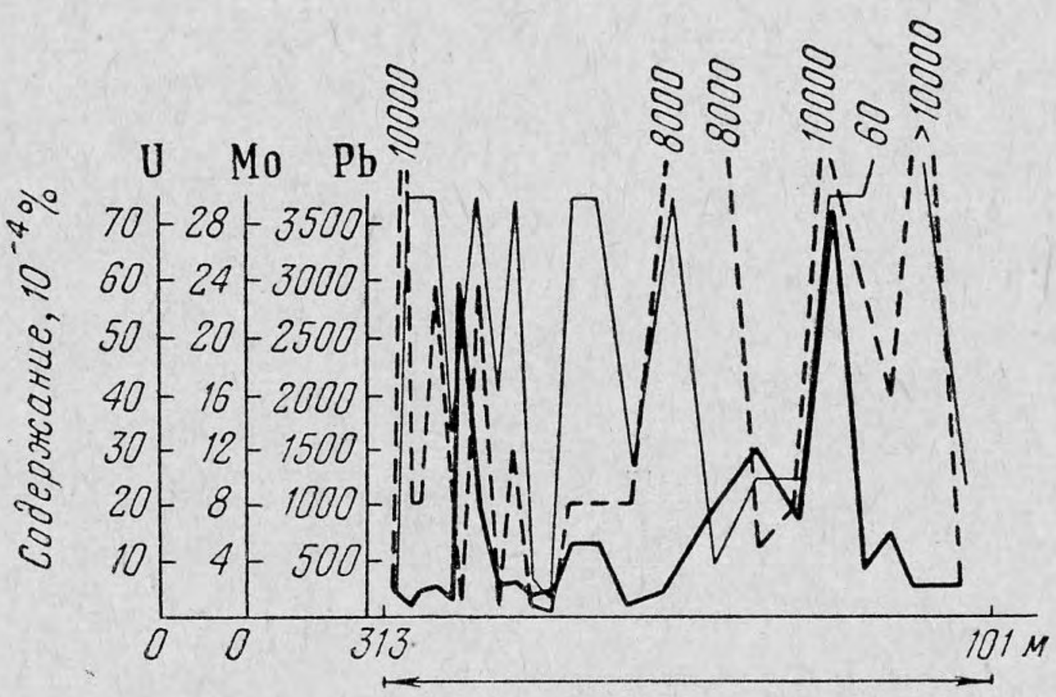


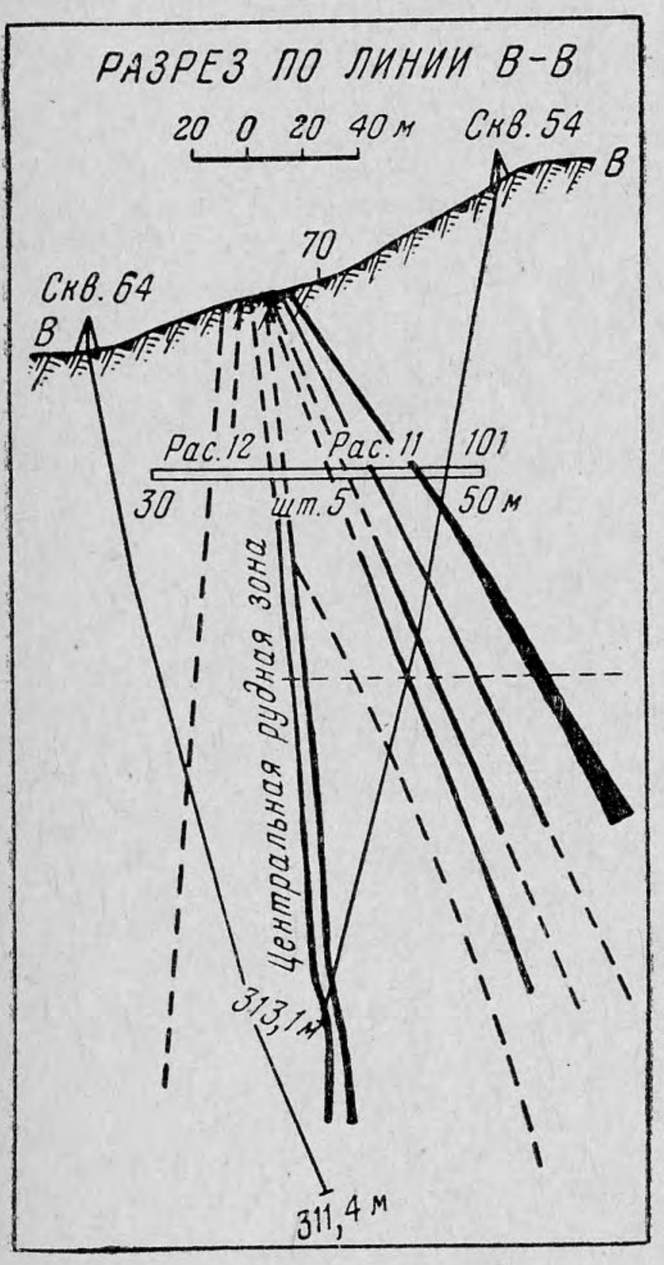
Коренные породы

а. Рассечки 11-12

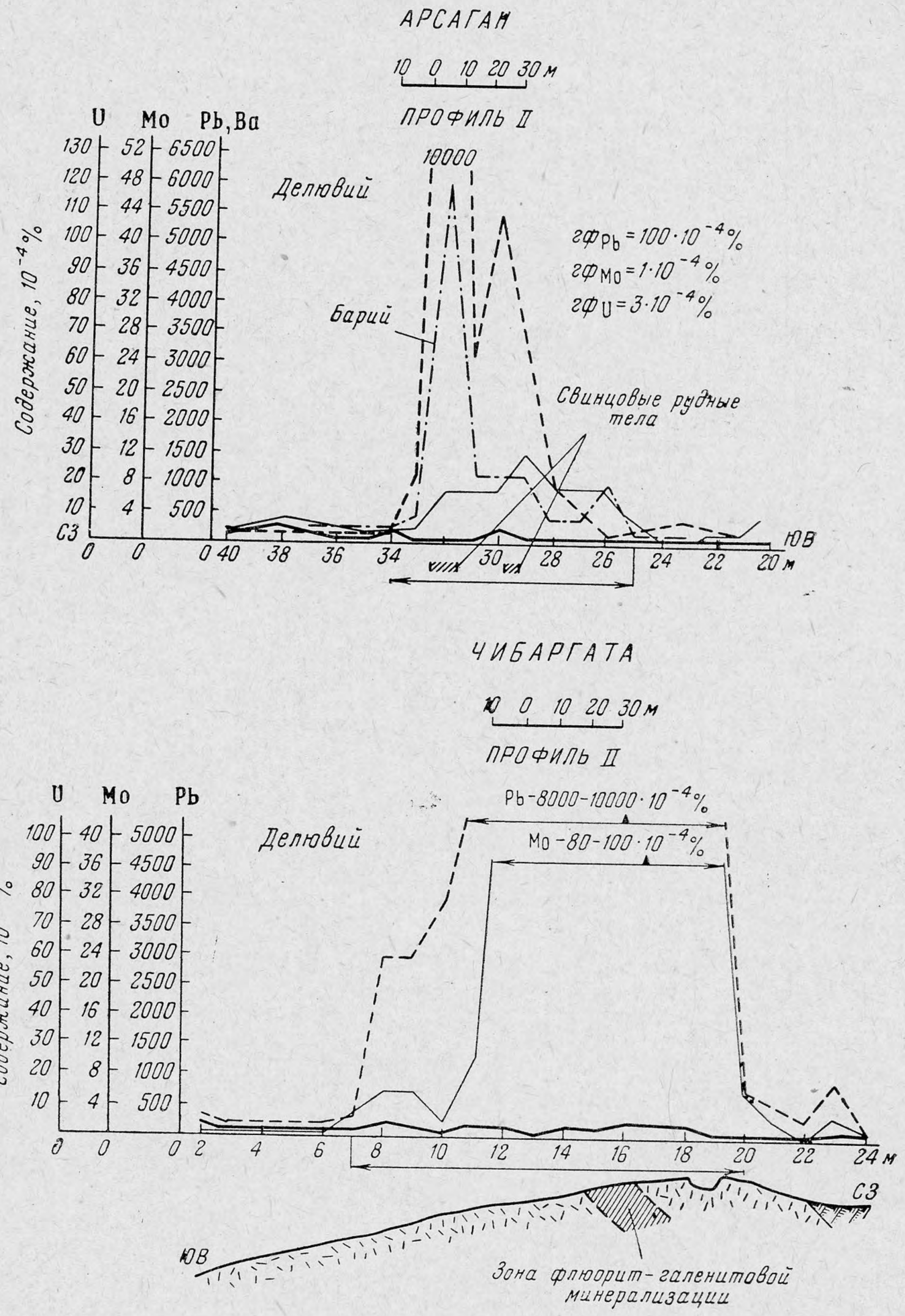


б. Скв. 54

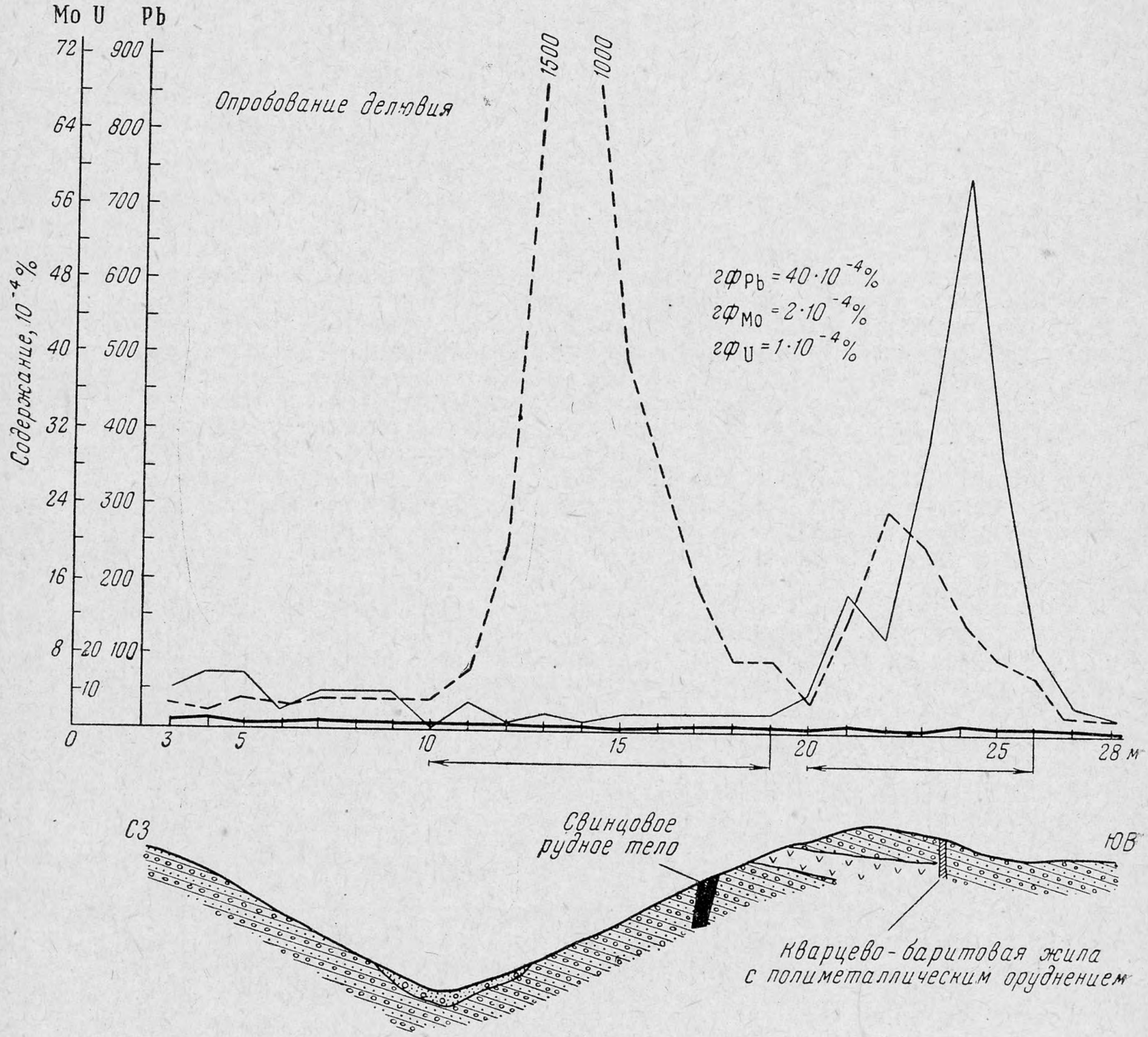




Профиль, выработка	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
Пр. 18	63—77	16 150	1 560	150	107,7	10,4
Рассечка 11—12	30—0—50	10 516	1 786	81	130,0	22,2
Скв. 54	101—313	10 889	2 454	426	25,6	5,72



Участок	Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_U	$\frac{M_{Pb}}{M_U}$	$\frac{M_{Mo}}{M_U}$
Арсаган	II	25—34	7 010	20	15	467	13,3
Чибаргата	II	7—20	19 800	3 370	0	$\gg 1000$	$\gg 1000$



Профиль	Интервал	M_{Pb}	M_{Mo}	M_{U}	$\frac{M_{Pb}}{M_{U}}$	$\frac{M_{Mo}}{M_{U}}$
VIII	10—19	940	0	0	$\gg 1000$	—
VIII	20—26	210	720	10	21	72

ЛИТЕРАТУРА

Билибин Ю. А. К вопросу о вертикальной зональности рудных месторождений. «Зап. Всесоюз. мин. о-ва», 1951, сер. II, вып. 2.

Боголюбов А. Н., Сочеванов Н. Н. Мелкомасштабные металлометрические поиски полиметаллов по ореолам и потокам рассеяния. «Разведка и охрана недр», 1959, № 10.

Вершковская О. В. Первичные ореолы рассеяния ртути как поисковый признак ртутно-сурьмяных месторождений. «Разведка и охрана недр», 1956, № 2.

Виноградов А. П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам. Тр. биогеохим. лабор., Изд-во АН СССР, 1954.

Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. «Геохимия», 1955, № 1.

Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд-во АН СССР, 1957.

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах горных пород. «Геохимия», 1962, № 7.

Вольфсон Ф. И. [и др.]. Некоторые вопросы формирования гидротермальных урановых месторождений. Изв. МВО СССР, серия «Геология и разведка», 1961, № 9.

Ворошилов Н. А., Михайлова Ю. И. Распределение элементов-примесей в ореолах рассеяния вокруг урановых рудных тел. «Вопросы развед. радиометрии», Информ. сборн., № 2, Л., 1960.

Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв. Изд. 4, Изд-во колхозной и совхозной лит-ры, 1933.

Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР. В сб.: «Тр. 1-го Всесоюз. совещания по геохим. методам поисков рудных месторождений», Госгеолтехиздат, 1957.

Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков. Госгеолтехиздат, 1957.

Дубов Р. И. Теоретический анализ распределения концентраций в фильтрационных ореолах. Сб. избранных лекций по геохимическим методам поисков рудных месторождений, Алма-Ата, Казгеофизтрест, 1963.

Дубов Р. И. Теоретический анализ распределения концентраций в диффузионных ореолах. Сб. избранных лекций по геохимическим методам поисков рудных месторождений, Алма-Ата, Казгеофизтрест, 1963.

Зенков Д. А. Четыре типа изменчивости рудных тел. «Разведка и охрана недр», 1955, № 6.

Инструкция по металлометрической съемке. Госгеолтехиздат, 1957.

Каблуков А. Д., Сочеванов Н. Н. Методические указания по применению геохимических методов при поисках скрытых рудных тел гидротермальных месторождений урана. М., 1959.

Каблуков А. Д., Вертепов Г. И. Ореолы рассеяния элементов вокруг урановых рудных тел. «Геология рудных месторождений», 1960, № 2.

Калинин С. К. [и др.]. Атлас спектральных линий. ГИТЛ, 1952.

Калита Е. Д. К вопросу об ореолах рассеяния лития, рубидия, бериллия. В сб.: «Мат-лы по геологии рудных месторождений», Изд-во АН СССР, 1959.

Карабанов Н. И., Ветров А. Г., Васильев А. В. Каротажная установка КУ-59, техническое описание и руководство по эксплуатации. МГиОН, завод «Геологоразведка», Л., 1960.

Квашневская Н. В., Комаров В. С. Временная инструкция по уранометрической съемке. Госгеолтехиздат, 1960.

Клер М. М., Хохлов В. В. Применение полного спектрального анализа в геологических экспедиционных условиях. Зап. ЛГУ, 1953, т. XXIX, вып. 2.

Ковалев А. А. Эвапорационные рудопроявления урана в аридных районах. «Вестн. АН Каз. ССР», 1962, № 3 (204).

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. ч. I, Изд-во АН СССР, 1946.

Комаров В. А., Иоффе Л. М., Семенов М. В. Метод вызванной поляризации. ОНТИ ВИТР, вып. 20, Л., 1959.

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., Поярков В. Э. Проявление гипогенной минерализации — индикатор скрытого оруденения. «Советская геология», 1948, № 34.

Котляр В. Н. Геология месторождений урана. Госгеолтехиздат, 1961.

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

Красников В. И. Глубинные поиски рудных месторождений по первичным ореолам. В сб.: «Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики», разд. 1, Геохимия, Госгеолтехиздат, 1960, докл. на XXI Междунар. геол. конгрессе.

Кушнарев И. П. [и др.]. Общие закономерности локализации уранового оруденения и основные типы структур гидротермальных урановых месторождений. Тр. 2-й Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, докл. сов. ученых, Атомиздат, 1959.

Кэннон Х. Л., Клейнхемпл Ф. Д. Ботанические методы, применяемые для поисков урана. Геология атомных сырьевых материалов. Докл. иностр. ученых на Женевской конференции, Госгеолтехиздат, 1956.

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

Ловеринг Т. С., Соколов В. Д., Моррис Х. Т. Тяжелые металлы в измененных породах над слепыми рудными телами в районе Восточного Тинтика, Юта. В сб.: «Геохим. методы поисков рудных месторождений», под ред. В. И. Смирнова, Изд-во иностр. лит-ры, 1954.

Лонцих С. В., Недлер В. В., Разтаум Я. Д. Спектральный анализ металлометрических проб. Госгеолтехиздат, 1959.

Лукашев К. И. Основы литологии и геохимии коры выветривания. Изд-во АН БССР, 1958.

Малюга Д. П. Новое приспособление для взятия проб из почвенного слоя и делювия. «Разведка и охрана недр», 1955, № 5.

Мелков В. Г., Пухальский Л. Н. Поиски месторождений урана. Госгеолтехиздат, 1957.

Муканов К. М. О некоторых особенностях образования первичных ореолов рассеяния рудных месторождений. В сб.: «Мат-лы по геологии рудных месторождений», Изд-во АН СССР, 1959.

Недлер В. В. Спектральный анализ олова и никеля в рудах. «Заводская лаборатория, 1936, № 12.

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

Овчинников Л. Н. Некоторые закономерности магматогенного рудообразования (по экспериментальным данным). Междунар. геол. конгресс, XXI сессия. Докл. сов. геологов, пробл. 116, Госгеолтехиздат, 1960.

Перельман А. И., Сауков А. А. Геохимические основы поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1957.

Перельман А. И., Шарков Ю. В. Опыт выделения на территории СССР провинций и районов с различными условиями геохимических поисков. В сб.: «Геохим. поиски рудных месторождений», Госгеолтехиздат, 1957.

Перельман А. И. Геохимия ландшафта. Географгиз, 1961.

Пожарицкий К. Л. Опробование месторождений цветных металлов и золота. ГОНТИ, 1939.

Прокофьев В. К. Применение спектрального анализа в исследовании минералов и руд. «Изв. АН СССР, серия физ.», 1935, № 2.

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

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

Разумовский Н. К. К вопросу о выделении аномалий на фоне обычных содержаний элемента в породе при поисковых работах. «Вопр. разведочной геофизики», вып. 1, Гостоптехиздат, 1962.

Ранкама К. Об использовании следов элементов при решении некоторых проблем прикладной геологии. В сб.: «Геохим. методы поисков рудных месторождений», под ред. В. И. Смирнова, Изд-во иностр. лит-ры, 1954.

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

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

Россман Г. И. Первичные ореолы рассеяния металлов в боковых породах Николаевского колчеданно-полиметаллического месторождения. «Советская геология», 1960, № 6.

Русанов А. К., Тарасова Т. И. Спектральный анализ порошкообразных веществ с введением порошков воздухом в зону разряда. «Ж. анал. хим.», 1955, т. X, вып. 5.

Сауков А. А. Геохимия ртути. Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 78, серия минералогия — геохимия, № 17, 1946.

Сауков А. А., Германов А. И. Поиски урановых месторождений радиогидрогеологическим методом. Госгеолтехиздат, 1955.

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

Сафронов Н. И. Формы рассеяния элементов в породах и их поисковое значение. В сб.: «Геохим. методы поисков рудных месторождений», 1957.

Сафронов Н. И. Комплексирование поисковых методов применительно к основным типам месторождений цветных металлов. «Советская геология», 1958, № 8.

Сафронов Н. И. К теории первичных ореолов рассеяния. «Вопросы разведочной геофизики», вып. 1, Гостоптехиздат, 1962.

Сафронов Н. И., Сергеев Е. А. Геохимические рудопоисковые методы в Советском Союзе. «Геологические результаты прикладной геохимии и геофизики». Докл. на XXI геол. конгрессе, разд. 1, Геохимия, Госгеолтехиздат, 1960.

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

Сергеев Е. А. Физико-химический метод поисков рудных залежей. В сб. «Мат-лы ВСЕГЕИ», № 9—10. Госгеолиздат, 1941.

Сизов Е. А. Выбор рационального шага опробования аллювиальных отложений при поисках по потокам рассеяния. «Разведка и охрана недр», 1960, № 4.

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

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд-во МГУ, 1957.

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

Соловов А. П. К вопросу об оценке перспективности оруденения по результатам металлометрической съемки. «Разведка и охрана недр», 1952, № 4.

Соловов А. П. Поисковая металлометрическая съемка. «Советская геология», 1955, № 49.

Соловов А. П. Теория и практика металлометрических съемок. В сб.: «Геохим. поиски рудных месторождений», Госгеолтехиздат, 1957.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Алма-Ата, Изд-во АН Каз. ССР, 1959.

Соловов А. П., Кунин Н. Я. Металлометрическая съемка по потокам рассеяния в горных районах. «Советская геология», 1960, № 5.

Соловьев В. Г. Методы вариационной статистики в приложении к разведке и подсчету запасов месторождений полезных ископаемых. ГОНТИ, 1939.

Сонюшкин Е. П., Лукин Л. И. Структуры гидротермальных урановых месторождений и некоторые вопросы их изучения. «Изв. АН СССР, серия геол.», 1956, № 3.

Сочеванов Н. Н. Инструкция по опробованию элювиальных и делювиальных отложений. Изд-во «Сов. Колыма», 1944.

Сочеванов Н. Н. Методика опробования подземных выработок и поверхности при поисках рудных тел и месторождений по первичным ореолам рассеяния. В сб.: «Вопр. методики опробования рудных месторождений при разведке и эксплуатации», Госгеолтехиздат, 1961.

Справочник укрупненных норм для проектирования геологоразведочных работ. Вып. VIII, Госгеолтехиздат, 1960.

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

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

Тиссен С. Геохимические и фитобиологические связи в свете прикладной геофизики. В сб.: «Геохим. методы поисков рудных месторождений», под ред. В. И. Смирнова. Изд-во иностр. лит-ры, 1954.

Ферсман А. Е. Геохимия, Т. I—IV, ОНТИ, 1933, 1934—1939.

Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Избр. произв., т. 2, Изд-во АН СССР, 1955.

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

Хрущов Н. А. Итоги совещания по вопросу поисков скрытых полезных ископаемых стран — членов Совета экономической взаимопомощи. «Советская геология», 1961, № 6.

Шарков Ю. В. К вопросу об особенностях проведения металлометрических поисков в различных природных условиях. «Разведка и охрана недр», 1956, № 8.

Янишевский Е. М., Григорян С. В. [и др.]. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. Госгеолтехиздат, 1963.

Davidson C. F., Bowie S. H. U. Methods of prospecting for uranium and torium Min. Mag., 1955, v. 93, N 3.

Garrels R. M. [and oth.]. Diffusion of Iions through intergranular spaces in watersaturated rocks. Bull. Geol. Soc. Amer., 1949, v. 5, N 12.

Everhart D. S. and Wright R. I. The geological character et typical pitchblende veins. Econ. Geol., 1953, v. 48, N 2.

Kerr P. F., Robinson A. F. Uranium mineralization of the Seintine Mine, Idaho. Min. Engng, 1953, v. 5, N 5.

Miller R. L., Goldberg E. D. The normal distribution in geochemistry. Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 8, 1955.

Ostle D. Geochemical prospecting for uranium. Min. Mag., 1954, v. 91, N 4.

Whright H. Mineralogy of a uraninite deposit at Caribou, Colorado. Econ. Geol., 1954, v. 49, N 2.

13 Заказ 1639.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие (А. П. Соловов)	3
Введение (А. Д. Каблуков, Н. Н. Сочеванов)	6
Глава I. **Рудные тела и первичные ореолы гидротермальных урановых месторождений** (Э. Н. Баранов, Г. И. Вертепов, С. В. Григорян, А. Д. Каблуков, Н. Н. Сочеванов, Е. М. Янишевский)	9
1. Геохимические и геологические особенности урановых рудных тел	9
2. Общие понятия о первичных ореолах и вопросы их генезиса	14
3. Характеристика первичных ореолов вокруг урановых рудных тел	19
4. Распределение элементов в ореолах и их зональность	34
5. Связь ореолов с околорудными изменениями вмещающих пород	45
Глава II. **Вторичные ореолы и потоки рассеяния**	49
1. Вторичные ореолы рассеяния (Майорова Е. А., Сочеванов Н. Н.)	49
2. Потоки рассеяния (Боголюбов А. Н.)	65
Глава III. **Методика и техника полевых и лабораторных исследований**	78
1. Опытно-методические работы (А. Н. Боголюбов, А. Д. Каблуков, Н. К. Разумовский)	78
2. Опробование коренных пород (А. Д. Каблуков, В. И. Тулин)	89
3. Опробование коры выветривания (Е. А. Майорова)	95
4. Опробование элювиально-делювиальных отложений (Е. А. Майорова)	97
5. Опробование аллювиальных отложений (А. Н. Боголюбов)	104
6. Лабораторные исследования (Е. А. Майорова)	113
Глава IV. **Применение геохимических методов при поисках скрытых рудных тел** (А. Д. Каблуков, Н. Н. Сочеванов)	119
1. Выделение перспективных площадей	119
2. Оценка перспектив отдельных участков	120
3. Поиски новых скрытых рудных тел на разведуемых и эксплуатируемых месторождениях урана	126
Глава V. **Использование элементов-спутников при оценке радиометрических аномалий и урановых рудопроявлений** (А. Н. Боголюбов)	132
1. Выделение аномалий, связанных с испарительными и инфильтрационными аккумуляциями урана	132
2. Оценка рудопроявлений	139
Глава VI. **Роль геохимических методов в комплексе поисковых работ** (Н. Н. Сочеванов, В. Н. Тулин)	145
1. Поиски в высокогорных районах с резко расчлененным рельефом	145
2. Поиски в среднегорных районах гумидной зоны	148
3. Поиски в пенепленизированных районах аридной зоны	150
4. Задачи, решаемые геохимическими методами на разных этапах геологоразведочных работ	154
Заключение (А. Д. Каблуков, Н. Н. Сочеванов)	157

Стр.

Приложения:

Приложение 1. Форма сопроводительной записки 161
Приложение 2. Форма полевой книжки для документации отбора металлометрических проб 162
Приложение 3. Форма полевой книжки для документации отбора проб аллювия 163
Приложение 4. Список основного оборудования и материалов для уранометрической лаборатории 164
Приложение 5. Перечень основного оборудования и материалов для производства спектрального анализа 165
Приложение 6. Типичные геохимические ареолы на урановых и полиметаллических месторождениях 166
Литература 190

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ УРАНА
И ЭЛЕМЕНТОВ-СПУТНИКОВ ПРИ ПОИСКАХ
И РАЗВЕДКЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ УРАНОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(*МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО*)

Ведущий редактор издательства *Ф. Н. Чумакова*
Технический редактор *Т. М. Шмакова*
Корректор *А. А. Сивакова*

Подписано к набору 8/V 1964 г.
Подписано к печати 9/VII 1964 г.
Формат бумаги 70×108 1/16. Печ. л. 12 1/4.
Усл. л. 17,15. Уч.-изд. л. 15,88. Т-10031.
Тираж 2350 экз. Зак. № 1639/664—2. Цена 89 коп.
Объявлено в Темплане б. Госгеолтехиздата 1964 г. № 46.

Издательство «Недра». Москва, Центр, ул. Кирова, 24.
Ленинградская типография № 14 «Красный Печатник»
Главполиграфпрома Государственного комитета
Совета Министров СССР по печати.
Московский проспект, 91.