

55084  
№-60

С. А. МИЛЯЕВ

# ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ **Pb** ПОЛИ- **Zn** МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

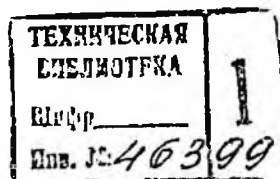


2004

550.84  
М-60

С.А. МИЛЯЕВ

**ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ  
ПОИСКИ  
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**



МОСКВА "НЕДРА" 1988

ББК 26.301  
М 60  
УДК 550.84:553.44

Рецензент д-р геол.-минер. наук *А.П. Соловов*

**Миляев С.А.**

**М 60** Литохимические поиски полиметаллических месторождений. —  
М.: Недра, 1988. — с. 183: ил.  
ISBN 5-247-00120-6

Рассмотрены методические и практические основы литохимических поисков полиметаллических месторождений различных генетических типов по их вторичным потокам и ореолам рассеяния, а также первичным ореолам в разнообразных геолого-структурных и ландшафтно-геохимических условиях. Особое внимание уделено количественной интерпретации данных литохимических съемок с учетом эндогенной зональности месторождений. Описана последовательность литохимических поисков и оценки полиметаллического оруденения на различных стадиях геологоразведочных работ. Приведены примеры оценки прогнозных ресурсов свинца и цинка в рудных районах.

Для геологов, геохимиков, занимающихся поисками и разведкой рудных месторождений.

М 1904050000 — 064 — 105-88  
043 (01) — 88

ББК 26.301

ISBN 5-247-00120-6

© Издательство „Недра“, 1988

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых прочно вошли в практику широкомасштабных геологопоисковых и разведочных работ в рудных районах. Наряду с геологическими и геофизическими методами они составляют единый комплекс исследований, направленных на решение основной задачи — обеспечение промышленности запасами минерального сырья.

Созданные в нашей стране в начале 30-х годов Н.И. Сафроновым прогрессивные геохимические методы поисков рудных месторождений получили дальнейшее теоретическое и практическое развитие благодаря работам А.П. Соловова, С.Д. Миллера, А.А. Саукова, В.И. Красникова, В.В. Поликарпочкина, С.В. Григоряна, Е.М. Квятковского, А.И. Перельмана, Л.Н. Овчинникова и др. Широкое внедрение в практику геологических работ геохимических методов поисков привело к открытию или переоценке ряда промышленных месторождений цветных, редких и благородных металлов, а также выявлению рудопоявлений и геохимических аномалий, значительная часть которых еще требует дальнейшего изучения. Опыт геохимических поисков показывает, что в благоприятных геолого-структурных условиях наземными литохимическими съемками могут выявляться месторождения, залегающие на глубинах более 100 м. При этом существенная роль, по-прежнему, принадлежит современным литохимическим поискам по вторичным ореолам рассеяния.

Настоящая работа посвящена вопросам совершенствования методики литохимических поисков полиметаллических месторождений. Выбор этой группы месторождений определяется следующими соображениями:

полиметаллические месторождения различных генетических типов служат сырьевым источником не только свинца и цинка, но и серебра, меди, золота, висмута, бария, ряда редких элементов;

проблема поисков свинцово-цинковых месторождений стоит исключительно остро в связи с необходимостью расширения минерально-сырьевой базы действующих предприятий горнодобывающей промышленности;

именно литохимические методы поисков сыграют ведущую роль в выявлении и быстрой оценке новых полиметаллических месторождений.

Практика показывает, что в течение последних десятилетий многие открытия полиметаллических месторождений в нашей стране и за рубежом сделаны на основании результатов литохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния. В настоящее время основной прирост запасов в экономически освоенных районах ожидается за счет обнаружения погребенных и слепых месторождений по их весьма слабым рудным аномалиям. Для выявления и интерпретации этих аномалий нужны

новые методические подходы. Необходимость совершенствования методики литохимических поисков полиметаллических месторождений определяется также тем, что в основном по гипергенным потокам и ореолам рассеяния свинца и цинка, их первичным ореолам и рудам наиболее эффективно ведется оценка прогнозных ресурсов металлов категорий  $P_3 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1$ .

Содержание книги отражает опыт советской школы поисковой геохимии, которой принадлежит научный приоритет в создании и разработке современных геохимических методов поисков. В работе приведены также зарубежные данные по теории и практике геохимических поисков полиметаллических месторождений.

Для решения поставленных задач привлекались материалы и результаты литохимических съемок, проведенных на свинцово-цинковых месторождениях А.П. Солововым, Б.А. Досановой, А.И. Карцовым, В.А. Кличниковым, А.С. Малаховым, И.Ф. Мясниковым и другими исследователями. В работе использованы также данные исследований, представленные сотрудниками кафедры геохимии геологического факультета МГУ Э.И. Бабаевым, С.А. Воробьевым, А.А. Матвеевым, Ю.Н. Николаевым, Т.В. Чепкасовой. Большую помощь в обработке геохимической информации на ЭВМ оказал В.А. Николаев.

## ГЛАВА 1

### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Термин „полиметаллическое месторождение“ дословно означает „многометальное месторождение“. Однако в классификации рудных месторождений название „полиметаллических“ традиционно присваивается свинцово-цинковым месторождениям. В то же время по мере развития аналитической техники и расширения области геохимических исследований, признак „многометального“ состава оказался характерным для абсолютного большинства рудных месторождений самого различного генезиса. В рудах медных, редкометальных, урановых, золоторудных и оловорудных месторождений в аномальных содержаниях обнаруживаются многочисленные рудные элементы, перечни которых с точки зрения их участия в рудообразовании оказываются удивительно схожими. При этом имеется в виду не так называемое „присутствие“ того или иного рудного элемента, поскольку наличие определенных содержаний всех химических элементов в любых природных образованиях диктуется законом Вернадского [35]. В данном случае речь идет о принимающих участие в рудообразовании химических элементах, содержания которых в рудах существенно выше, чем во вмещающих породах, и закономерно подчиняются рудоконтролирующим структурам, морфологии и контурам рудной залежи. Для геохимической характеристики каждой группы месторождений основное значение приобретает не столько аномально высокое содержание элемента в рудах, сколько его доля относительно других элементов, слагающих руды этих месторождений.

Таким образом, в более узком понимании термин „полиметаллическое месторождение“ объединяет генетически разнородную группу месторождений, в которых роль главных полезных компонентов принадлежит свинцу и цинку. Что же касается других элементов, то в зависимости от генетического типа (подтипа) и зональности месторождений их набор может колебаться в широких пределах. Изучение этих взаимоотношений между многочисленными рудными элементами, принимающими участие в рудообразовании, представляет большой интерес для обоснования генетической классификации объектов, установления уровня эрозионного среза месторождений, прогноза глубины распространения руд и решения многих других вопросов, связанных с их поисками и оценками.

#### ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Полиметаллические месторождения принято рассматривать как образования глубинного происхождения. Исключение составляют месторождения гидротермально-осадочного генезиса, накопление металлов в ко-

торых протекало одновременно с формированием вмещающих отложений на морском дне. Образование месторождений свинцово-цинковых руд происходило на различных стадиях тектоно-магматической активности геосинклинальных и платформенных областей. На ранних этапах геосинклинального развития шло формирование колчеданно-полиметаллических месторождений. На поздних этапах, а также при активизации древних складчатых областей и платформ возникали скарновые и гидротермальные свинцово-цинковые месторождения. В период окончательной консолидации геосинклиналей и завершения тектоно-магматических процессов, особенно в платформенный этап, возникли эпигенетические стратиформные месторождения свинца и цинка в карбонатных толщах.

Формирование полиметаллических месторождений происходило во все металлогенические эпохи. В протерозойскую эпоху шло образование месторождений Северного Прибайкалья, Джунгарского Алатау, Енисейского кряжа, в каледонскую — месторождений Западного Забайкалья и Салаирского кряжа. Большое число месторождений свинца и цинка сформировано в герцинскую эпоху. К последним относятся месторождения Рудного Алтая, Средней Азии, Центрального Казахстана, хребта Каратау, Якутии, Киргизии, Верхоянья, Колымского массива. В киммерийскую и альпийскую металлогенические эпохи образовались месторождения Приморья, Забайкалья и Кавказа [32].

Промышленное значение свинцово-цинковых объектов в каждом горнорудном районе определяется размерами запасов, качеством руд и горнотехническими условиями их эксплуатации. Один из важнейших показателей оценки месторождения — размеры запасов свинца и цинка. Полиметаллические месторождения могут считаться крупными при запасах по сумме свинца и цинка 2 млн. т. В этом случае при десятичной классификации [37] центр класса средних месторождений составят объекты с запасами 200 тыс. т металла, а мелких — 20 тыс. т. Класс уникальных полиметаллических месторождений образуют объекты со средними запасами 20 млн. т свинца и цинка или, с учетом ширины класса, месторождения с запасами более 7 млн. т металла. Примером месторождения, попадающего в верхнюю часть класса уникальных объектов, может служить Брокен-Хилл в Австралии, суммарные запасы которого с учетом выработанных руд составляют 55 млн. т свинца и цинка при средних содержаниях металлов, по данным пяти рудников, 12,7 % свинца, 13,6 % цинка и 130 г/т серебра.

Комплексные свинцово-цинковые руды разрабатываются при содержаниях суммы свинца и цинка обычно не менее 1,5 — 2 %. Богатыми считаются сульфидные руды с содержанием свинца более 4 %, рядовыми — от 2 до 4 %, бедными — менее 2 %. Суммарное содержание свинца и цинка в богатых рудах составляет более 7 %, в рядовых — от 4 до 7 % и в бедных — менее 4 % [20]. Кроме свинца и цинка ценными компонентами, извлекаемыми из руд полиметаллических месторождений, являют-

ся медь, золото, серебро. Помимо этих металлов, полиметаллические месторождения служат источником редких элементов — кадмия, индия, таллия, селена, теллура, галлия, германия, а также висмута, большая часть которых заключена в виде примесей в основных минералах свинцово-цинковых руд [42].

Единственный важный первичный минерал свинца — галенит  $PbS$  (86,6 %  $Pb$ ). В качестве главных примесей в нем содержатся серебро (до 0,1 %), селен (до 0,1 %), теллур (до 0,01 %), висмут (до 1 %), а также сурьма, мышьяк. Среди многочисленных сульфосолей свинца наиболее распространена в полиметаллических месторождениях серия сурьмянистых минералов — буланжерит  $Pb_5 Sb_4 S_{11}$  (55,4 %  $Pb$ ), джемсонит  $Pb_4 FeSb_6 S_{14}$  (50,8 %  $Pb$ ) и бурнонит  $PbCuSbS_3$  (42,5 %  $Pb$ ). Первичные минералы свинца в поверхностных условиях под действием химического выветривания преобразуются во вторичные минералы: англезит  $PbSO_4$  (68,3 %  $Pb$ ), церуссит  $PbCO_3$  (77,6 %  $Pb$ ), массикот  $PbO$  (92,8 %  $Pb$ ), платтнерит  $PbO_2$  (86,6 %  $Pb$ ), пироморфит  $Pb_3 [PO_4]_3 Cl$  ( $PbO$  82,2 %), миметезит  $Pb_5 [AsO_4]_3 Cl$  ( $PbO$  74,9 %), ванадинит  $Pb_5 [VO_4]_3 Cl$  ( $PbO$  78,7 %), вульфенит  $PbMoO_4$  ( $PbO$  60,7 %). Наиболее распространенные минералы цинка — сфалерит  $ZnS$  (67 %  $Zn$ ) и вюртцит  $ZnS$  гексагональный (63 %  $Zn$ ) — содержат в качестве главных примесей кадмий (до 3,4 %), галлий (до 0,2 %), индий (до 0,07 %), а также германий, таллий, олово, ртуть. К основным минералам цинка зоны окисления полиметаллических месторождений принадлежат смитсонит  $ZnCO_3$  (52 %  $Zn$ ), каламин  $Zn_4 [Si_2O_7] (OH)_2 \cdot H_2O$  ( $ZnO$  67,5 %), гидроцинкит  $Zn_5 (OH)_6 [CO_3]_2$  ( $ZnO$  74 %). Минералы серебра представлены в рудах аргентитом  $Ag_2S$  (87,1 %  $Ag$ ), самородным серебром, пруститом  $Ag_3 [AsS_3]$  (65,5 %  $Ag$ ) и пираргиритом  $Ag_3 [SbS_3]$  (60 %  $Ag$ ). В рудах полиметаллических месторождений может присутствовать также медь в количествах, достаточных при их комплексном использовании. Промышленные минералы меди — халькопирит  $CuFeS_2$  (34,5 %  $Cu$ ), тетраэдрит  $Cu_3SbS_3$  (52,1 %  $Cu$ ), теннантит  $Cu_3AsS_3$  (57,5 %  $Cu$ ), а также борнит  $Cu_5FeS_4$  (63,3 %  $Cu$ ), халькозин  $Cu_2S$  (79,8 %  $Cu$ ), ковеллин  $CuS$  (66,4 %  $Cu$ ), последние нередко гипергенного происхождения.

Полиметаллические месторождения принадлежат к четырем генетическим группам: колчеданной, стратиформной (телетермальной), гидротермальной, скарновой и делятся на пять промышленных типов [20]. Наибольшее значение по запасам свинца и цинка в зарубежных странах имеют стратиформные месторождения (запасы свинца 43 %, цинка 28 %) и колчеданно-полиметаллические (соответственно 39 и 49 %). На долю запасов жильных гидротермальных месторождений в капиталистических и развивающихся странах приходится порядка 10 % свинца и 12 % цинка; скарновые месторождения в общем балансе запасов составляют не многим более 6 % [42]. В СССР ведущая роль по запасам и добыче свинца и цинка принадлежит колчеданно-полиметаллическим месторожде-



ниям. Запасы стратиформных месторождений более ограничены. Скарново-полиметаллические и жильные гидротермальные месторождения занимают подчиненное значение. Ниже приводятся общие характеристики отдельных групп свинцово-цинковых месторождений в порядке уменьшения их промышленной значимости.

Колчеданно-полиметаллические месторождения по условиям залегания подразделяются на докембрийские в метаморфических толщах и фанерозойские в вулканогенно-осадочных и осадочных породах. Докембрийские колчеданно-полиметаллические месторождения располагаются в пределах древних щитов и древних складчатых областей и залегают в вулканогенных и осадочных толщах, превращенных в кристаллические и метаморфические сланцы. Фанерозойские колчеданно-полиметаллические месторождения пространственно и генетически связаны с кислыми производными базальтоидного вулканизма ранних стадий эвгеосинклинального развития. Месторождения приурочены к палеовулканическим структурам, представленным вулканическими куполами, вулканотектоническими депрессиями, синвулканическими разломами и зонами трещиноватости. Колчеданно-полиметаллические месторождения, залегающие в терригенно-осадочных толщах, размещаются в периферических частях миогеосинклинальных систем в узлах сочленения крупных складчатых и дизъюнктивных структур.

Колчеданно-полиметаллические месторождения, как правило, локализованы в определенных литолого-стратиграфических горизонтах вмещающих пород. По данным Н.Л. Бубличенко, 70 % месторождений Рудного Алтая сосредоточено в туфогенно-осадочных образованиях эйфельского и живетского ярусов среднего девона. В пределах Джунгарского Алатау 94 % общих запасов полиметаллических руд заключено в средней кремнисто-карбонатно-углистой части разреза текелийской свиты верхнего протерозоя.

Рудные тела колчеданно-полиметаллических месторождений представлены согласными пласто-, линзообразными и лентовидными залежами, нередко более сложной штокверковой и жильной формы. Размеры пластообразных залежей составляют по простиранию первые сотни метров, достигая 1,5 — 2 км; по падению — 600—800 м при мощности рудных тел от 2 до 30 м и более. Штокверки, близкие к изометрической форме, могут достигать в поперечнике 600—800 м при вертикальном размахе оруденения 200—250 м.

Руды колчеданно-полиметаллических месторождений отличаются насыщенностью пиритом, реже пирротином, которые составляют до 80—85 % всего количества минералов. Второстепенные рудные минералы представлены арсенопиритом, блеклой рудой, сульфосолями свинца. Гидротермально измененные вмещающие породы состоят из кварцевых, кварц-серицитовых, кварц-серицит-хлоритовых, кварц-карбонатных, березит-лиственитовых образований. Околорудные метасоматиты имеют

асимметричное строение, развиваясь преимущественно в лежащем боку рудных залежей. Колчеданно-полиметаллические месторождения характеризуются четко проявленной поперечной зональностью, выражающейся в закономерной пространственной смене от тыловых к фронтальным зонам месторождения серноколчеданных руд медноколчеданными, медно-цинково-колчеданными, свинцово-цинковыми и свинцово-цинково-баритовыми.

В.И. Смирнов, Г.Ф. Яковлев и другие исследователи приходят к выводу о полигенном и полихронном генезисе колчеданного оруденения, для которого характерны длительная история и многоэтапный процесс формирования руд [6, 32]. Выделяют сингенетичные вулканогенно-осадочные руды раннего этапа, гидротермально-метасоматические позднего этапа, гидротермально-метаморфогенные или регенерированные, образованные под воздействием поздних метаморфогенных, гидротермальных или магматических процессов.

К колчеданно-полиметаллическим в нашей стране относятся месторождения Северного Прибайкалья (Холоднинское), Джунгарского Алатау (Текели), Бурятии (Озерное), Рудного Алтая (Тишинское, Зыряновское), Узбекистана (Хандиза), Кавказа (Филизчай), за рубежом — уникальные по запасам свинца и цинка докембрийские месторождения Австралии (Брокен-Хилл, Маунт-Айза, Марк-Артур-Ривер) и Канады (Сулливан), крупные — Швеции (Лайсвааль), ФРГ (Раммельсберг), Перу (Серро-де-Паско), Японии (Куроко, Эпури).

Колчеданно-полиметаллические месторождения Атасуйского района (Центральный Казахстан) в силу своих геохимических особенностей рассматриваются в группе стратиформных месторождений.

Стратиформные полиметаллические месторождения располагаются среди карбонатных толщ преимущественно палеозойского возраста на значительном удалении от магматических комплексов. К отложениям мезозоя приурочены только месторождения Абхазии и Грузии. Рудоносные карбонатные формации — это образования как геосинклинального, так и платформенного происхождения. Месторождения хребта Каратау, Северной и Южной Киргизии принадлежат к геосинклинальным комплексам. В наложенной эпиплатформенной мульде располагаются месторождения Атасуйского района Центрального Казахстана. Площади распространения рудоносных формаций составляют многие десятки и сотни квадратных километров. Рудные залежи имеют четкие литолого-стратиграфические границы и располагаются в одном или нескольких горизонтах слоистых толщ. Характерная черта рудоносных отложений — отчетливо проявленная цикличность, заключающаяся, например для месторождений Центрального Казахстана, в частом переслаивании известняков, доломитов, железо-марганцевых руд и пластовых залежей прожилково-вкрапленного оруденения пирит-сфалеритового типа.

Рудные тела обладают пластовой либо пластообразной формой. Реже

развиты богатые агрегативные метасоматические руды трубо- и лентообразной формы, приуроченные к секущим разломам. Размеры пластовых залежей по простиранию составляют от нескольких сотен метров до нескольких километров, по падению до одного километра при средней мощности 10–20 м. Секущие рудные тела характеризуются размерами по падению до 150–200 м при мощности до 25–30 м.

По мнению В.И. Смирнова и Г.Н. Щербы, формирование стратиформного оруденения протекало в несколько этапов сингенетичного и эпигенетичного рудоотложения. Пространственная совмещенность этапов объясняется унаследованным развитием тектонических зон с повышенной проницаемостью для рудообразующих флюидов.

К типу стратиформных месторождений в Советском Союзе относятся свинцово-цинковые объекты Якутии (Сардана), Полярного Урала (Саурей), хребта Каратау (Миргалимсай), Центрального Казахстана (Жайрем), Южной (Сумсар) и Северной (Джаргелан) Киргизии, Верхоянья (Джардан), Колымского массива (Урультунское), Средней Азии (Уч-Кулач), Абхазии и Грузии (Брдзышха, Дзышра), за рубежом — в США (рудный район Миссисипи — Миссури), Канаде (Пайн-Пойнт), Испании (Реосин), Ирландии (Наван, Тайнах), Иране (Ангуран), Марокко (Бу-Беккер).

Гидротермальные месторождения свинца и цинка пространственно и парагенетически связаны с формированием интрузивных и вулканических комплексов. Для гидротермальных месторождений характерны две рудные формации: метасоматическая пирит-галенит-сфалеритовая в карбонатных породах и жильная галенит-сфалеритовая [22].

Месторождения пирит-галенит-сфалеритовой формации представлены трубо-, линзо- и жилообразными телами, залегающими в карбонатных породах в местах сочленения трещин скалывания и разрывных нарушений различных направлений. Вертикальный размах оруденения может достигать 150–200 м при площади горизонтальных рудных сечений 100–250 м<sup>2</sup>. Главные рудные минералы: галенит, сфалерит, пирит, реже арсенопирит, станнин, блеклые руды. Околорудные изменения выражены в кварцевании и доломитизации вмещающих пород.

Месторождения, относящиеся к жильной галенит-сфалеритовой формации, представлены одиночными жилами или серией жил, локализованных в оперяющих рудоконтролирующие структуры разломах. Рудовмещающие породы — гранитоиды, вулканыты, реже песчано-сланцевые толщи. Вертикальный размах оруденения жильных полиметаллических месторождений может достигать 1–1,5 км, по простиранию они могут прослеживаться до 1,5–2 км.

Гидротермальные полиметаллические месторождения широко представлены в Забайкалье (Благодатское, Кадаинское, Смирновское), Средней Азии (Канимансур), Северном Кавказе (Садон, Згид), Казахстане (Алайгыр, Акжал).

Скарновые свинцово-цинковые месторождения приурочены к контактовой или экзоконтактовой зоне кислых магматических пород поздних стадий геосинклинального цикла и вмещающих их карбонатных толщ. В размещении оруденения большую роль играют разрывные нарушения, в узлах пересечения которых расположены основные рудные тела и месторождения. Формы скарновых залежей разнообразны. Они могут быть представлены пластообразными телами, жилами, гнездами, телами столбообразной и неправильной формы. Контакты с вмещающими породами нерезкие, контуры рудных тел извилистые. Наиболее крупные пластообразные залежи имеют размеры по простиранию и падению до 800 м и мощность до 30 м. Минералообразование скарновых месторождений происходило по крайней мере в две стадии. В предрудную шло формирование скарнов обычно гранат-пироксенового и пироксенового составов. В продуктивную сульфидную стадию выделялась основная масса галенита и сфалерита, а также сопровождающих их пирита, пирротина, арсенопирита, халькопирита, блеклых руд, марказита и большого числа других минералов. Для скарново-полиметаллических месторождений бывают характерны чрезвычайно оригинальные и запоминающиеся структуры (крупнозернистые, радиально-лучистые, колломорфные, метаколлоидные) и текстуры (массивные, полосчатые, друзовые, вкрапленные, сфероидальные) рудной массы. На ряде месторождений известны жильные тела кварц-галенит-сфалеритового состава, сформированные позднее сульфидных тел. Их образование сопровождалось интенсивным гидротермальным изменением вмещающих пород, перекрывающих скарновые залежи. Эти изменения на скарновых месторождениях Приморья (Николаевское, Садовое) выражены в окварцевании, серицитизации кислых вулканитов, а также широкой пропилитизации пород основного и среднего составов [32].

Основные скарново-полиметаллические месторождения в СССР сосредоточены в Средней Азии (Алтын-Топкан), Приморье (Верхнее) и Центральном Казахстане (Кызыл-Эспе).

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Геохимические особенности свинцово-цинковых месторождений СССР изучали путем сравнительного сопоставления между собой более 50 объектов различных классов крупности. Рассмотрены основные генетические типы промышленных месторождений свинца и цинка: колчеданный, стратиформный, гидротермальный и скарновый. Наиболее обширную группу образуют колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая (Тишинское, Зырянское, Иртышское и др.), Джунгарского Алатау (Текели, Яблоновое, Центральное Сууктубе) и Северного Прибайкалья (Холоднинское). Для сопоставления были прив-

лечены стратиформные месторождения Центрального Казахстана (Восточный Жайрем, Ушкатын I, Ушкатын III, Бестюбе, Узунжал, Карагайлы, Арап) и хребта Каратау (Миргалимсай, Ачисай, Шалкия, Байжансай, Аксуран). К той же группе принадлежит месторождение Саурей (Полярный Урал). Гидротермальные месторождения рассмотрены на примере жильных полиметаллических объектов Северного Кавказа (Садон, Архон, Левобережное), Центрального Казахстана (Алайгыр, Акжал) и Приморья (Ахобинское), скарново-полиметаллические месторождения — на примере месторождений Средней Азии (Алтын-Топкан, Чап-Ата) и Приморья (Николаевское, Садовое).

Для более объективной геохимической характеристики некоторых месторождений приведены два-три конкретных пересечения рудной зоны, что позволило наряду с индивидуальными особенностями отразить и первичную геохимическую зональность этих месторождений. Число проб, характеризовавших каждое сечение, в среднем составляло 25—30 (минимум 10). Анализ большинства проб проводили в спектральной лаборатории геохимической экспедиции ПГО „Казгеофизика“ со средней относительной погрешностью не более  $1,3^{\pm 1}$  —  $1,4^{\pm 1}$ . Поскольку пробы анализировались в одной лаборатории, как правило, с доктларковой чувствительностью, имевшиеся данные можно считать сопоставимыми.

Сравнение полученных результатов с кларками литосферы [39] позволило выделить 16 типоморфных элементов, содержания которых в свинцово-цинковых рудах постоянно превышают их кларки. Условно эти элементы разбиты на пять групп:

	I	II	III	IV	V
Кларки концентраций	3—30	30—100	100—300	300—1000	> 1000
Химически элементы	Sn, Co, Sr,	Cu, Ba,	Sb, Zn	As, Ag, Pb	Cd
	Tl, Mn, Mo	Bi, Hg			

Внутри групп элементы перечисляются в порядке возрастания их кларков концентрации ( $K_k$ ) в рудах. Однако в ряде случаев отмечаются отклонения от этих градаций.

На фоне повышенных содержаний цинка в рудах алтайских месторождений ( $K_k \geq 300$ ) отмечается понижение его содержаний в сульфидно-баритовых рудах стратиформных месторождений Центрального Казахстана (Восточный Жайрем, Бестюбе, Узунжал и особенно Ушкатын III), а также месторождения Саурей, для которого отношение свинца к цинку составляет 10:1. Повышенные содержания цинка характерны для руд некоторых гидротермальных месторождений (Алайгыр и др.).

Содержания кадмия в рудах обычно характеризуются самыми высокими кларками концентраций, намного превышающими кларк концентраций свинца в рудах тех же месторождений. Наиболее обогащены кадмием свинцово-цинковые месторождения в районах молодой вулка-

нической деятельности. Это скарновые месторождения Средней Азии и Приморья. Высокие кларки концентраций кадмия характерны для осадочных существенно цинковых руд стратиформных месторождений (Восточный Жайрем, Карагайлы, Арап, Ушкатын I), месторождения Акжал, а также целого ряда колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая.

Серебро — постоянный спутник полиметаллических месторождений, в которых оно распределено достаточно равномерно.

Мышьяк в рудах рассмотренных месторождений, как правило, характеризуется высокими содержаниями, кларк концентраций его близок к кларку концентраций свинца или превышает его в 2—2,5 раза. Содержания мышьяка с  $K_k \geq 1000$  отмечаются в сингенетических рудах стратиформных месторождений Восточный Жайрем, Арап и гидротермальных — Архон, Левобережное, Ахобинское. Относительно пониженные содержания мышьяка с  $K_k = 30-50$  характерны для колчеданных месторождений Текели, Зырянское, Тишинское, Иртышское и стратиформных — Миргалимсай и Саурей.

Кларки концентраций сурьмы в рудах полиметаллических месторождений подвержены колебаниям от 10 до 1000 единиц. Повышенные содержания сурьмы  $K_k \geq 250$  отмечаются для стратиформных месторождений Центрального Казахстана. Такой же порядок содержаний фиксируется в колчеданно-полиметаллических месторождениях Джунгарского Алатау. На полпорядка ниже содержания сурьмы наблюдаются в полиметаллических месторождениях Рудного Алтая. Отношение кларков концентраций сурьмы к свинцу для месторождений Зырянского района (Зырянское, Греховское, Снегиревское, Богатыревское) колеблется от 0,01:1 до 0,04:1, а для месторождений Лениногорского района (Тишинское, Гусяковское, Стрежанское, Шубинское) это соотношение возрастает в 10 раз. Наиболее низкие содержания сурьмы отмечаются для большинства стратиформных месторождений хребта Каратау.

Ртуть в полиметаллических месторождениях содержится в количествах от  $n \cdot 10^{-5}$  до  $n \cdot 10^{-2}$  % [47]. Самые высокие содержания ртути отмечаются на месторождениях Саурей и Ачисай. Относительно повышенными содержаниями ртути характеризуются месторождения Бестюбе, Узунжал, Восточный Жайрем (метасоматические руды). Значительно понижены ее содержания в гидротермально-осадочных рудах месторождений Арап, Восточный Жайрем, Ушкатын I, Карагайлы ( $K_k = 3-10$ ) и некоторых месторождений Рудного Алтая.

Средний кларк концентраций висмута в рудах рассмотренных месторождений равен 60. Высокими содержаниями характеризуются руды скарново-полиметаллических месторождений. Повышенные содержания висмута фиксируются в рудах гидротермальных месторождений Северного Кавказа и колчеданных — Рудного Алтая. Для всех стратиформных свинцово-цинковых месторождений вследствие недостаточной чувстви-

тельности спектрального анализа ( $8 \cdot 10^{-5}$ , кларк  $2 \cdot 10^{-5}$  %) висмут данным методом часто не обнаруживается.

Барий и стронций в рудах месторождений постоянно характеризуются содержаниями с кларками концентраций соответственно 50 и 5. Исключения составляют Холоднинское, Текели, Ушкатын I, Алайгыр, Ахобинское и некоторые другие месторождения, в которых их содержания приближаются к кларкам литосферы. Высокие содержания бария и стронция характерны для метасоматических руд месторождений Восточный Жайрем, Ушкатын III, верхних горизонтов месторождений Миргалимсай и Саурей.

Высокие содержания меди ( $K_k > 100$ ) являются рядовыми для месторождений Рудного Алтая. Исключение составляет Богатыревское месторождение, для которого содержание меди в рудах ниже, чем в рудах других рудноалтайских месторождений. Повышенные содержания меди отмечаются для месторождения Холоднинское. Содержания меди с  $K_k$ , равным 15–20, характерны для руд гидротермальных и скарновых месторождений. В рудах стратиформных месторождений содержания меди обычно понижено, кларк концентраций редко превышает 10. Низкие содержания меди отмечаются в рудах колчеданно-полиметаллических месторождений Джунгарского Алатау (Текели, Центральное Сууктубе, Яблоновое).

Молибден в рудах большинства полиметаллических месторождений распределен достаточно равномерно ( $K_k \approx 15$ ). Несколько повышенные содержания этого элемента наблюдаются в рудах скарновых и колчеданных месторождений. Заметно понижены содержания молибдена в рудах колчеданных месторождений Северного Прибайкалья (Холоднинское), Джунгарского Алатау (Текели) и стратиформного месторождения Ушкатын III, для которых отмечаются близкларковые содержания.

Марганец — типоморфный элемент месторождений атасуйского типа, поэтому его высокие содержания в рудах стратиформных месторождений чрезвычайно характерны, за исключением метасоматических руд Восточного Жайрема, Ушкатын III, Бестюбе. Содержания марганца в рудах скарново-полиметаллических месторождений достигают 10–12 % (Чал-Ата); его средний кларк концентраций в этих объектах составляет 30 единиц. Заметно понижены содержания марганца в месторождениях Успенской зоны (Алайгыр, Карагайлы, Узунжал) и очень низкие в колчеданных месторождениях Рудного Алтая, Джунгарского Алатау, а также гидротермальных — Северного Кавказа и Приморья.

Средний кларк концентрации таллия в рудах свинцово-цинковых месторождений равен 5. Повышенные содержания этого элемента отмечаются в рудах стратиформных и колчеданных (Джунгарский Алатау) месторождений. Максимальные содержания таллия зафиксированы в месторождении Байжансай. В рудах скарновых, гидротермальных и кол-

чеданных месторождений Рудного Алтая содержания таллия спектральным анализом не обнаружены.

Содержания кобальта, как правило, низкие; незначительно повышены его содержания ( $K_k = 3$ ) в рудах колчеданных месторождений Рудного Алтая, скарново-полиметаллических Приморья и гидротермальных — Северного Кавказа, а также месторождений Миргалимсай и Восточный Жайрем.

Это относится и к олову, повышенные содержания которого фиксируются в рудах большинства колчеданных месторождений, а также скарновых и гидротермальных месторождений Средней Азии и Приморья.

Естественно, круг типоморфных элементов не ограничивается только рассмотренными выше. По данным различных исследователей полезную информацию о составе и строении первичных ореолов и руд полиметаллических месторождений несет никель, в скарновых и гидротермальных — вольфрам; в колчеданных и стратиформных — галлий, германий. Имеется положительный опыт привлечения для поисков слепого глубоководного полиметаллического оруденения неметаллических элементов-индикаторов, в первую очередь йода, фтора и бора, участвующих в процессе переноса рудных металлов и способных создавать геохимические поля широкого рассеяния [46]. Большие перспективы открываются при привлечении для целей классификации изотопов различных элементов, в первую очередь свинца. По данным В.С. Матвеева, для свинцово-цинковых месторождений Каратау крупные месторождения существенно отличаются от бесперспективных рудопроявлений по отношениям радиогенных изотопов свинца-206, 207, 208 к изотопу свинца-204.

Предварительное сравнение месторождений по величинам кларков концентраций рудных элементов позволяет наметить группы объектов с близкими геохимическими характеристиками. Геохимическое сходство метасоматических руд месторождений Восточный Жайрем, Ушкатын III, Узунжал и Бестюбе выражается в повышенных содержаниях бария, стронция, ртути, таллия, сурьмы и более низких содержаниях цинка, молибдена, марганца, кадмия. В сингенетических рудах месторождений Восточный Жайрем, Ушкатын I, Арап наблюдаются высокие содержания цинка, кадмия, марганца, мышьяка и сурьмы; пониженные — ртути и меди. Для руд месторождения Карагайлы характерны повышенные содержания цинка, меди, серебра, молибдена и низкие — марганца.

Для стратиформных месторождений Каратау на фоне повышенных содержаниях бария, марганца, таллия и цинка наблюдаются повышенные содержания сурьмы и меди. Месторождение Саурей характеризуется высокими содержаниями ртути, бария, стронция и низкими — цинка, кадмия, меди, мышьяка. Вся группа стратиформных месторождений отмечается низкими близкларковыми содержаниями висмута, кобальта, олова.



Для группы гидротермальных месторождений Северного Кавказа и Приморья намечается геохимическое сходство, заключающееся в повышенных содержаниях в их рудах серебра, висмута, мышьяка и пониженных — бария, стронция, марганца. Месторождение Алайгыр по геохимической характеристике близко к этой группе; отмечается лишь относительное понижение содержаний мышьяка и висмута и повышение — меди и сурьмы. Обособленно от других месторождений этого типа располагается месторождение Акжал.

Скарново-полиметаллические месторождения Средней Азии и Приморья в отличие от других рассмотренных типов характеризуются высокими и повышенными кларками концентраций кадмия, молибдена, марганца, висмута, цинка, олова, кобальта и многих других элементов.

Самостоятельную группу образуют колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая, для которых характерны высокие содержания меди, цинка, кадмия, висмута, молибдена и низкие — марганца, стронция, бария, ртути, мышьяка. Особенность руд месторождений Джунгарского Алатау заключается в высоких содержаниях сурьмы, таллия, ртути и низких — стронция, бария, марганца, меди, молибдена, мышьяка. Руды Холоднинского месторождения характеризуются повышенными содержаниями мышьяка, меди, кадмия, сурьмы; пониженными — бария, стронция, молибдена, кобальта.

С целью сравнения месторождений между собой были построены их круговые (радиальные) геохимические спектры [39]. Для этого подсчитывались линейные продуктивности (в м %) рудных элементов по выбранным сечениям рассматриваемых месторождений. С целью устранения различий между объектами, зависящих от богатства или бедности руд, найденные значения продуктивностей 11 химических элементов делились на продуктивность свинца. Полученные данные изображались графически в полярной системе координат при постоянном расположении элементов по окружности. По соответствующим радиусам откладывались безразмерные величины отношений каждого элемента к свинцу в логарифмическом масштабе.

Сопоставление геохимических спектров 12 полиметаллических месторождений (рис. 1) наглядно показывает сходство и различия конфигураций некоторых из них. Относительным сходством обладают спектры месторождений Саурей, Восточный Жайрем, Бестюбе (объекты 1–3), Николаевское и Алтын-Топкан (объекты 7–8), Гусяковское и Зыряновское (объекты 11–12). Остальные месторождения, включая Миргалимсай, Алайгыр, Садон, Текели, Холоднинское, не образуют близких по рисунку геохимических спектров.

Мера сходства и различия между полиметаллическими месторождениями устанавливалась по специально вычисленным коэффициентам парной корреляции между их геохимическими спектрами. В двух частных рядах проводилось ранжирование типоморфных элементов по прин-

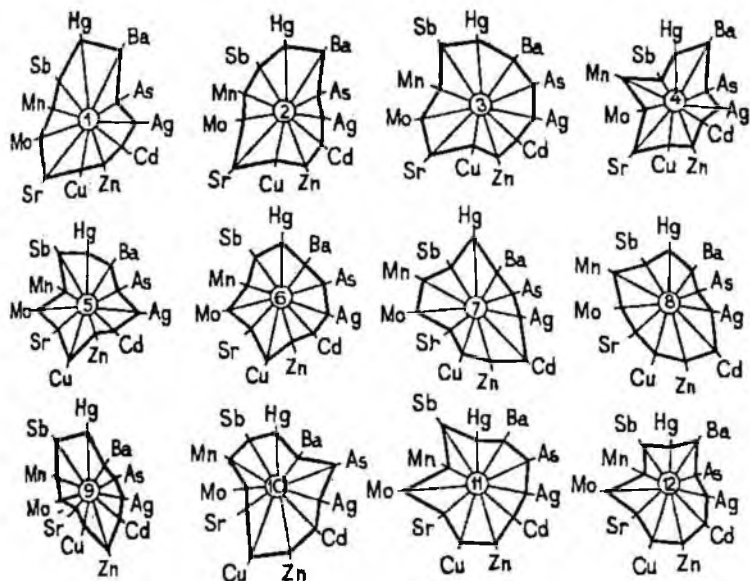


Рис. 1. Круговые геохимические спектры полиметаллических месторождений:

1 — Саурей, скв. 16; 2 — Восточный Жайрем, скв. 3159; 3 — Бестюбе, скв. 94; 4 — Миргалимсай, скв. 1455; 5 — Алайгыр, скв. 05<sup>2</sup>; 6 — Садон, штольня 15; 7 — Николаевское, скв. 181; 8 — Алтын-Топкан, скв. 1076; 9 — Такали, скв. 91; 10 — Холоднинское, скв. 98; 11 — Гусляковское, скв. 147; 12 — Зырянское, скв. 167

ципу определения относительной доли каждого из них в составе руд месторождения. С этой целью величины продуктивностей каждого элемента делились на среднюю величину продуктивности того же элемента по всем месторождениям. Оперировав нормированными продуктивностями элементов, можно сравнивать попарно отдельные ряды спектров. Результаты вычисления парных коэффициентов корреляции изображены в виде круговой диаграммы (рис. 2). Изучаемые объекты расположились группами. Одна из них представлена стратиформными полиметаллическими месторождениями: Восточный Жайрем, Ушкатын III, Узунжал, Бестюбе, Миргалимсай и Саурей. В следующие две вошли месторождения Ачисай и Шалкия, Ушкатын I, Арап и Карагайлы. Обширную группу образуют гидротермальные месторождения Северного Кавказа и месторождение Алайгыр. Скарновые месторождения Приморья и Средней Азии и колчеданные Рудного Алтая формируют две самостоятельные группы. Совершенно обособлены от других объектов месторождения Текели и Холоднинское.

Близкий результат получен с помощью иерархической классификации

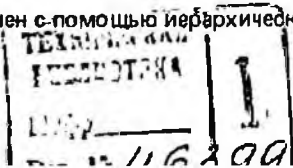
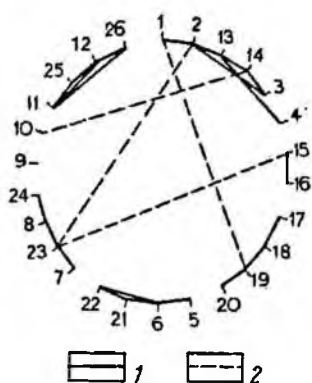


Рис. 2. Корреляционная диаграмма полиметаллических месторождений:

1-2 — значимые положительные (1) и отрицательные (2) связи при  $n = 12$ ,  $r_{5\%} = 0,58$ . Полиметаллические месторождения: 1-12 — см. в условных обозначениях к рис. 1, 13 — Ушкатын III, 14 — Узунжал, 15 — Ачисай, 16 — Шапкия, 17 — Карагайлы, 18 — Ушкатын I, 19 — Арап, 20 — Акжал, 21 — Архон, 22 — Левобережное, 23 — Садовое, 24 — Чал-Ата, 25 — Тишинское, 26 — Иртышское



месторождений по матрицам коэффициентов корреляции между группами химических элементов (рис. 3). По нормированным данным с дисперсией признаков, равной единице, проводится многошаговая группировка месторождений. На каждом следующем шаге вычисляется коэффициент корреляции между новой группой ( $i$ ) и любой из оставшихся ( $j$ ). Вновь полученная группа имеет стандартное отклонение

$$s_{ij} = \sqrt{s_i^2 + s_j^2 + 2s_i s_j r_{ij}}$$

а коэффициент корреляции ее с группой  $k$  равен

$$r_{ij,k} = \frac{1}{s_{ij}} (s_i r_{ik} + s_j r_{jk})$$

С целью количественного выражения сходства и различия между ука-

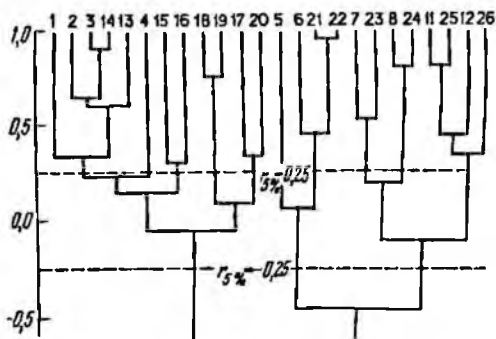


Рис. 3. Дендрограмма иерархической структуры полиметаллических месторождений.

Условные обозначения см. на рис. 2

занными группами месторождений для каждого из объектов были вычислены значения геохимического коэффициента III порядка  $\nu_0 = \frac{Ag \cdot Sb \cdot Hg}{Mn \cdot Zn \cdot Mo}$ , его числитель образует элементы, характерные для низкотемпературного рудоотложения, знаменатель — элементы средне- и высокотемпературной ассоциации. Величина геохимического коэффициента отражает условия рудообразования и служит весьма чувствительным индикатором „температуры“, при которой формировалось месторождение. В то же время, говоря о „температуре“ процесса, не следует понимать это буквально: речь идет об общей тенденции в смене условий рудоотложения. Результаты этих вычислений приведены в табл. 1, в которой объекты ранжированы в порядке убывания величин геохимического коэффициента, отвечающего росту условной „температуры“ рудоотложения. Выбранный коэффициент характеризуется высоким размахом  $R = \nu_{\max} : \nu_{\min} = 1,3 \cdot 10^7$ . В переводе на показатель I порядка его величина изменяется более чем в 200 раз, что существенно превышает любые погрешности спектрального анализа.

Данные табл. 1 показывают, что колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая, Джунгарского Алатау и Северного Прибайкалья расположены в достаточно узком интервале геохимического показателя ( $\nu_{\max} = 2,55 \cdot 10^{-4}$  и  $\nu_{\min} = 1,09 \cdot 10^{-7}$ ). Компактную группу формируют скарново-полиметаллические месторождения Средней Азии и Приморья. Для них выбранный показатель изменяется от  $2,26 \cdot 10^{-5}$  до  $1,93 \cdot 10^{-7}$ . Гидротермальные месторождения Северного Кавказа, Центрального Казахстана, Приморья охватывают пять объектов, характеризующихся значениями показателей  $\nu_{\max} = 5,18 \cdot 10^{-2}$  и  $\nu_{\min} = 7,57 \cdot 10^{-5}$ . Месторождение Акжал расположено обособленно от других гидротермальных месторождений.

Стратиформные месторождения характеризуются наибольшим размахом значений геохимического коэффициента ( $\nu_{\max} = 3,90 \cdot 10^{-2}$ ;  $\nu_{\min} = 4,10 \cdot 10^{-9}$ ). Для месторождений Восточный Жайрем, Ушкатын III, Узунжал, Бестюбе высокие значения коэффициента  $\nu_0$ , обусловленные увеличением содержания серебра, сурьмы и ртути по сравнению с содержанием марганца, цинка, молибдена, могут свидетельствовать о геохимической общности этих месторождений. Дополнительным доказательством этому служит положительное значение коэффициента парной корреляции  $r$  между обобщенными геохимическими спектрами двух пар месторождений Восточный Жайрем — Ушкатын III и Узунжал — Бестюбе ( $r = 0,68$ ,  $r_s \% = 0,58$ ). Другую группу образуют месторождения Карагайлы, Ушкатын I, Арап. Для них геохимический показатель изменяется от  $2,68 \cdot 10^{-6}$  до  $4,10 \cdot 10^{-9}$ . Такое разделение месторождений по показателю  $\nu_0$  позволяет говорить о заметном геохимическом различии указанных двух подтипов объектов в общем типе стратиформных месторождений.

Таблица 1

Величины геохимического показателя  $\nu_0$  для полиметаллических месторождений Советского Союза

№ п/п	Месторождение	$\nu_0 = \frac{\text{Ag} \cdot \text{Sb} \cdot \text{Hg}}{\text{Mn} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Mo}}$	Число проб
1	Саурей	$3,90 \cdot 10^{-2}$	10
2	Восточный Жайрем	$3,57 \cdot 10^{-2}$	11
3	Ушкатын III, скв. 5837	$8,76 \cdot 10^{-3}$	16
4	Узунжал, скв. 20Т	$5,73 \cdot 10^{-4}$	33
5	Бестюбе	$5,40 \cdot 10^{-4}$	18
6	Саурей, скв. 256	$4,93 \cdot 10^{-4}$	11
7	Миргалимсай, скв. 194	$1,39 \cdot 10^{-5}$	23
8	Карагайлы, скв. 418	$2,68 \cdot 10^{-6}$	53
9	Миргалимсай, скв. 63	$3,81 \cdot 10^{-7}$	18
10	Ачисай, скв. 6070	$2,66 \cdot 10^{-7}$	13
11	Шалкия, скв. 120	$1,67 \cdot 10^{-7}$	19
12	Ушкатын I, скв. 5820	$1,42 \cdot 10^{-7}$	13
13	Арал, скв. 4181	$4,10 \cdot 10^{-9}$	16
14	Алайгыр	$5,18 \cdot 10^{-2}$	23
15	Архон, штольня 30	$1,05 \cdot 10^{-3}$	13
16	Седон	$5,02 \cdot 10^{-4}$	11
17	Ахобикское, штольня Западная	$2,04 \cdot 10^{-4}$	16
18	Левобережное, штольня 21	$7,57 \cdot 10^{-5}$	12
19	Акжал, Центральный карьер	$3,80 \cdot 10^{-8}$	21
20	Николаевское	$2,26 \cdot 10^{-5}$	28
21	Садовое, скв. 61	$2,10 \cdot 10^{-5}$	25
22	Садовое, скв. 39	$2,80 \cdot 10^{-6}$	28
23	Чал-Ата, скв. 4	$2,77 \cdot 10^{-7}$	15
24	Алтын-Топкан	$1,93 \cdot 10^{-7}$	30
25	Текели	$2,55 \cdot 10^{-4}$	29
26	Тишинское, скв. 112	$9,18 \cdot 10^{-5}$	54
27	Гүспяковское	$3,83 \cdot 10^{-5}$	26
28	Текели, скв. 149	$2,28 \cdot 10^{-5}$	21
29	Холодинское	$2,23 \cdot 10^{-5}$	50
30	Тишинское, скв. 118	$1,13 \cdot 10^{-5}$	33
31	Яблоновое, скв. 676	$1,70 \cdot 10^{-6}$	42
32	Зырянское	$6,67 \cdot 10^{-7}$	24
33	Иртышское, скв. 728 <sup>а</sup>	$4,35 \cdot 10^{-7}$	14
34	Зырянское, скв. 116	$1,09 \cdot 10^{-7}$	17

Примечания. 1. Генетические группы полиметаллических месторождений: 1–13 – стратиформные; 14–19 – гидротермальные; 20–24 – скарновые; 25–34 – колчеданные.

2. Номера скважин, не приведенные в таблице, указаны в условных обозначениях к рис. 1.

Выбранный геохимический коэффициент  $\nu_0 = \frac{\text{Ag} \cdot \text{Sb} \cdot \text{Hg}}{\text{Mn} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Mo}}$  мо-

жет характеризовать также уровень эрозионного среза месторождений. Это хорошо видно на примере различных сечений месторождений Мирга-

лимсай, Восточный Жайрем, Саурей, Тишинское, Зырянское, Текели, Садовое, на которых закономерно убывание величины показателя  $\nu_0$  от верхнего горизонта к нижнему указывает на первичную зональность месторождений. Следовательно, этот показатель может привлекаться для прогнозов распространения руд на глубину.

Наглядную характеристику полиметаллических месторождений обеспечивает двухмерное рассмотрение их в координатной плоскости геохимических показателей:

$$\nu_x = \frac{Sb \cdot Hg}{Pb \cdot Zn}; \nu_y = \frac{Ag \cdot Ba}{Cu \cdot Mo} \quad (\text{рис. 4}).$$

При наличии характерных различий совокупность рассматриваемых месторождений объединяется в контурах эллипса рассеяния, подтверждающего их зависимость от геохимических показателей  $\nu_x$  и  $\nu_y$ . В числовом варианте эту зависимость выражает коэффициент корреляции, который для данного случая имеет значимую положительную величину  $r = 0,44$  при  $r_{5\%} = 0,29$ . В центре эллипса указана точка, отвечающая геохимической характеристике гипотетического „среднего полиметаллического месторождения“. Вправо и вверх от центра эллипса расположены объекты, относящиеся по нашей классификации к группе „низкотемпературных“ месторождений (Миргалимсай, Байжансай, Ушкатын III, Бестюбе, Узунжал, Восточный Жайрем, Саурей). Самыми „высокотемпературными“ оказались колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая, которые занимают нижнюю часть эллипса, располагаясь в узком интервале показателей  $\nu_x$  и  $\nu_y$ . Так, по оси абсцисс для пары месторождений Гуслияковское — Богатыревское показатель  $\nu_x$  изменяется от  $4,26 \cdot 10^{-8}$  до  $1,80 \cdot 10^{-9}$  ( $R_x = 24$ ), а по оси ординат размах показателя составляет  $R_y = 521$  для месторождений Стрежанское ( $\nu_{\max} = 9,06$ ) и Зырянское ( $\nu_{\min} = 1,74 \cdot 10^{-2}$ ). Для месторождений Джунгарского Алатау изменение геохимических характеристик по оси ординат характеризуется более высоким размахом геохимического показателя  $\nu_y$  ( $R_y = 14\ 600$ ) для пары Центральное Сууктубе — Яблоновое, чем для месторождений Рудного Алтая. По оси абсцисс показатель  $\nu_x$  изменяется слабо ( $R_x = 4$ ). Гидротермальные и скарновые полиметаллические месторождения занимают промежуточное положение между стратиформными и колчеданными.

Для некоторых месторождений на рис. 4 показаны положения двух-трех пересечений рудной зоны, соединенных в этом случае прямой линией. Полученные данные указывают на одновременное уменьшение с глубиной величин обоих геохимических показателей, что свидетельствует о зональности рассматриваемых объектов. Два пересечения одного месторождения, относящиеся к разным рудным залежам и не связанные по падению, на рисунке не объединялись.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Сопоставление геохимических характеристик рассматриваемых полиметаллических месторождений подтверждает общность типоморф-

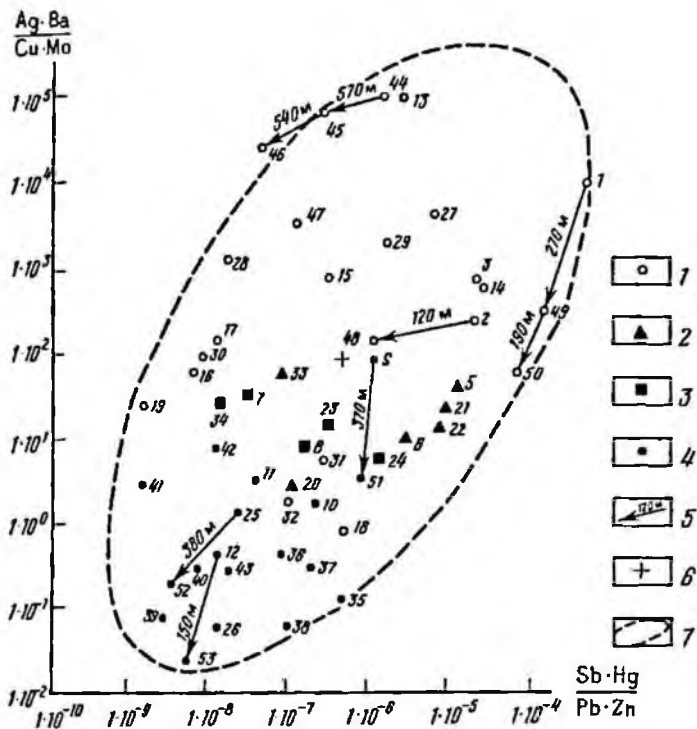


Рис. 4. Двухмерная геохимическая характеристика полиметаллических месторождений:

1—4 — месторождения: 1 — стратиформные, 2 — гидротермальные, 3 — скарновые, 4 — колчеданные; 5 — изменение геохимических показателей с глубиной, 6 — точка, отвечающая среднему составу месторождений, 7 — эллипс рассеяния. Полиметаллические месторождения: 1—26 — см. в усл. обозн. к рис. 1—2; 27 — Бейжансай, 28 — Аксуран; 29 — Центральное Сууктубе; 30 — Сарышоп; 31 — Южный Каражал; 32 — Южный Акбастау; 33 — Ахобинское; 34 — Западно-Партизанское; 35 — Яблоновое; 36 — Актюбе; 37 — Жельжота; 38 — Восточный Керимбак; 39 — 2-е Греховское; 40 — Снагиревское; 41 — Богатыревское; 42 — Стрешанское; 43 — Шубинское; 44—46 — Миргалимсай: 44 — скв. 577, 45 — скв. 194, 46 — скв. 63; 47—48 — Восточный Жайрем: 47 — скв. 3107, 48 — 3159; 49—50 — Саурей: 49 — скв. 48, 50 — скв. 256; 51 — Такали, скв. 149; 52 — Тишинское, скв. 118; 53 — Зьяновское, скв. 116

ного комплекса элементов, независимо от различий их генетических типов и подтипов.

2. Сравнение месторождений по различным параметрам позволяет выделить группы объектов с близкими и более отдаленными геохимическими характеристиками. Так, среди стратиформных месторождений 22

Центрального Казахстана выделяются два подтипа: в первый вошли месторождения Восточный Жайрем, Ушкатын III, Узунжал, Бестюба, во второй — большая группа месторождений и рудопроявлений, основные представители которой — Ушкатын I и Арап. Геохимическое сходство одних объектов легко объясняется общностью их генезиса, других (Акжал) — требует дополнительных исследований.

3. Совокупность различий и сходства рассматриваемых месторождений отражена в величинах безразмерных геохимических показателей  $\gamma$ , количественно характеризующих условную „температуру“ образования различных по генезису полиметаллических месторождений. Эти показатели могут привлекаться для установления уровня эрозионного среза месторождений и обоснования прогноза глубины распространения руд.

4. Особенность размещения свинцово-цинковых объектов на двухмерной диаграмме отражает тенденцию к относительному обогащению руд амагматогенных стратиформных месторождений „низкотемпературными“ элементами (Hg, Sb, Ag, Ba) по сравнению с вулканогенными колчеданными месторождениями, для которых характерно повышенное содержание в рудах „средне“- и „высокотемпературных“ элементов (Cu, Mo, Bi, Co).

## ГЛАВА 2

### ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ И ПОТОКИ РАССЕЙНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На обширных территориях рудных районов Советского Союза с их разнообразной металлогенией геохимические поиски не могут ориентироваться на выявление и оценку только полиметаллического оруденения. В общем случае поисковые работы ведутся комплексно и их цель — одновременное обнаружение промышленных месторождений различных металлов. Только на стадии детальных работ обязательна ориентировка методики геохимических поисков на генетические особенности конкретных месторождений. Однако современная геологическая и геохимическая изученность ряда территорий позволяет выделять в их пределах металлогенические провинции и рудные районы вполне определенного профиля, с характерным для них полиметаллическим, медным, редкометалльным или золоторудным оруденением, в которых поисковые работы получают конкретную сырьевую направленность.

Поисковые литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50 000, за некоторым исключением, были закончены на территории Казахстана, Средней Азии, Забайкалья, Кавказа к концу 60-х годов. Непрерывное совершенствование методики геохимических поисков рудных месторождений за последующие годы привело к тому,



что качество этих старых литохимических съемок не отвечает современным методическим и техническим требованиям. Между тем своевременное и полное раскрытие рудных ресурсов территорий невозможно без получения новейших данных поисковых и детальных геохимических исследований. Для этого необходимо завершение площадных литохимических съемок по стандартной методике, в том числе путем повторения на новом техническом уровне ранее проведенных съемок. В труднодоступных высокогорных районах целесообразно проведение поисковых литохимических съемок по потокам рассеяния.

Дальнейшее совершенствование методики литохимических поисков полиметаллических месторождений с целью повышения их эффективности связано с накоплением сведений об основных параметрах геохимического поля и с увеличением роли количественных методов оценки гипергенных литохимических аномалий. Количественная интерпретация потоков и ореолов рассеяния должна проводиться на всех стадиях поисковых и оценочных работ с целью выбора объектов для дальнейших более детальных исследований. Накопленный опыт изучения параметров вторичных остаточных ореолов рассеяния в современном элювио-делювиальном способствует правильной оценке обнаруженных рудопроявлений и позволяет применить его к анализу вторичных погребенных ореолов рассеяния в древних корях выветривания, выявляемых при глубинных литохимических съемках.

#### **ФОРМИРОВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ РАССЕЯНИЯ**

Геохимические поиски рудных месторождений по их литохимическим потокам рассеяния проводятся путем опробования аллювиальных отложений современной гидросети или пролювия сухих русел. Теория формирования идеальных потоков рассеяния основана на допущении, что состав аллювиально-пролювиальных отложений в каждой точке русла по химическому составу отвечает природной средней пробе, характеризующей состав пород и руд, слагающих бассейн денудации [37]. Образование литохимического потока рассеяния происходит за счет денудации вторичных ореолов рассеяния, развитых в пределах бассейна водосбора, при постоянном перемешивании и перемывании поступающего со склонов элювио-делювиального материала с его последующим выносом за пределы горной страны.

Основная часть материала, поступающего со склонов, переносится в потоках преимущественно во взвешенном и растворенном состоянии. По данным Г.В. Лопатина, в среднем для рек Советского Союза соотношение между взвешенными, влекомыми наносами и растворенным веществом составляет 3,5:0,35:1 [29]. Реки горных районов Кавказа, Средней Азии и Казахстана характеризуются значительным преоблада-

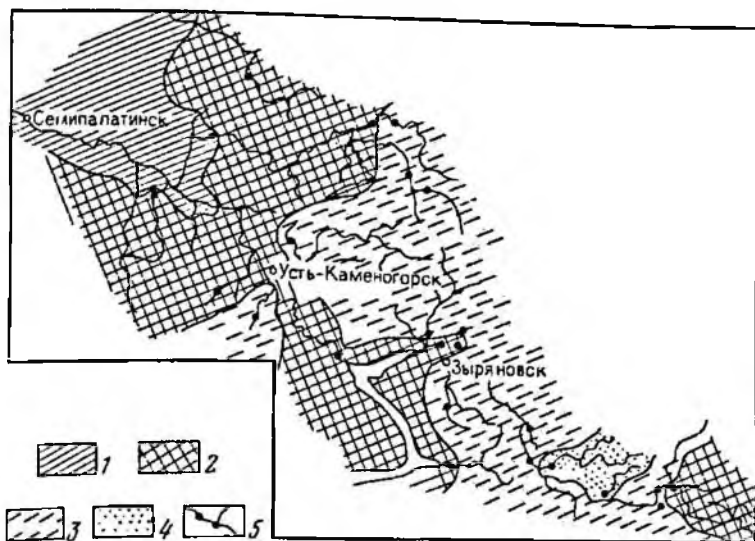


Рис. 5. Схема ежегодного слоя денудации Рудного Алтая.

$\Delta h$  (в мм/год): 1 —  $> 0,1$ ; 2 —  $0,1-0,05$ ; 3 —  $0,05-0,02$ ; 4 —  $< 0,02$ ; 5 — гидропункты

нием твердого стока над растворимым. В этих районах реки — основные транспортные пути сноса материала со склонов, вынос которого в основном (более 80 %) происходит весной и летом во время половодий. Соотношение твердого и растворимого стока в это время составляет 10:1. Более ощутима доля растворенных веществ в горных реках холодного климата, для которых при неизменном преобладании твердого стока это отношение составляет 2,0:1 (р. Колыма, Витим, Амур, Печора). Обратные соотношения, при которых преобладает растворимый сток, характерны только для равнинных рек (Волга, Нева).

По данным многолетних наблюдений для бассейнов водосбора относительно крупных рек сведения о средних значениях модулей твердого и растворимого стока, полученные из соответствующей литературы (Гидрологические ежегодники), могут служить для оценки величины ежегодного слоя денудации ( $\Delta h$ , мм/год). На рис. 5 приведен пример схемы, характеризующей современную скорость денудации территории Рудного Алтая.

Для горных районов отмечается четкая зависимость скорости денудации от ландшафтных особенностей территорий. В условиях высокогорных районов Казахстана (абсолютные отметки более 2500 м) ежегодный слой денудации составляет  $0,18 \pm 0,01$  мм/год; из них 90 % приходится на

долю твердого стока. В переходных условиях от высокогорья к среднегорью (высотные отметки 2000–2500 м), отвечающих горно-луговым геохимическим ландшафтам, величина ежегодного слоя денудации составляет  $0,06 \pm 0,02$  мм/год, из которых 70 % приходится на долю твердого стока. В условиях горно-лесных ландшафтов (высоты 1500–2000 м) при сплошной задернованности ежегодный слой денудации —  $0,035 \pm 0,007$  мм/год, при этом на долю растворимого стока приходится  $0,018 \pm 0,004$  мм/год. В низкогорных степных ландшафтах ежегодный слой денудации составляет  $0,1 \pm 0,015$  мм/год, увеличиваясь в местах интенсивной распахки земель.

Сведения о ежегодном слое денудации или о модулях твердого и растворимого стока и коэффициентах водной миграции позволяют оценить соотношения между механической и гидрохимическими формами миграции рудных компонентов. Оценки соотношения между твердой и растворимой формами стока в условиях горных районов на примерах количеств меди и цинка показывают, что на долю их механического стока приходится 95 %, на долю химического — не более 5 % [39]. Для свинца преобладание твердого стока над растворимым оценивается примерно таким же соотношением. Для олова, золота, серебра, сурьмы, марганца и многих других металлов заведомо преобладает перенос в твердой фазе. Эти и другие данные подтверждают целесообразность проведения геохимических поисков в обширных районах именно литохимическим методом путем опробования аллювиальных отложений гидросети.

Важная характеристика потоков рассеяния — их продуктивность  $P_x' = f(x)$ , определяемая по графикам вдоль русла согласно зависимости

$$P_x' = S_x (C_x' - C_{\phi}'),$$

где  $S_x$  — площадь водосбора;  $C_x'$  и  $C_{\phi}'$  — соответственно содержание рудного элемента в точке опробования  $x$  и его местное фоновое содержание в русловых отложениях.

Продуктивность потоков рассеяния вдоль русла в области непосредственного поступления рудного вещества со склона постоянно возрастает (интервал  $R_0 - A$ ), ниже рудной зоны (точки  $A$ ), в идеальном случае, остается относительно постоянной величиной  $P_x' = \text{const}$  (рис. 6). При убывании аномальных содержаний рудных элементов в аллювии вследствие разубоживающего приноса материала с безрудных склонов постоянно производство надфоновых содержаний ( $C_x' - C_{\phi}'$ ) на возрастающие площади водосборов ( $S_x$ ) является важнейшей характеристикой нижнего интервала литохимического потока рассеяния. В практике прямые оценки продуктивности потоков рассеяния по графикам  $P_x' = f(x)$  предпочтительны при наличии 3–4 точек опробования с постоянным значением  $P_x'$ , что наблюдается далеко не всегда. Так, при непрерывном росте  $P_x'$  вплоть до устья небольшого водотока после его впадения в магистральную реку содержания рудных элементов могут

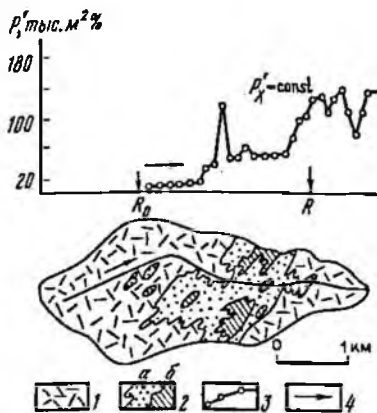


Рис. 6. График продуктивностей потока рассеяния и вторичные ореолы свинца. По В.П. Бороздину.

1 — липаритовые порфиры; 2 — вторичные ореолы рассеяния свинца (в %): а — 0,005–0,02, б — > 0,02; 3 — значения продуктивностей по пикетам; 4 — направление стока

полиметаллических объектах Таласского Алатау [37], показал хорошее подтверждение зависимости  $P_x' = \text{const}$  в руслах I – II порядков и существенное нарушение ее в руслах III – IV порядков. Основная причина отступления графиков  $P_x'$  от теоретической зависимости состоит в том, что принятая модель процесса предполагает идеальное перемешивание транспортируемого материала и его полный вынос из русла. В реальной геологической обстановке оба эти условия нередко нарушаются.

Отклонение графика  $P_x' = f(x)$  от теоретической зависимости обязано непропорционально большому участию в составе аллювиальных отложений материала ближайших склонов. Степень отличия состава опробуемых отложений от состава природной средней пробы всего бассейна денудации зависит от уклона и ширины русла, его многоводности, от характера окружающих горных пород, мощности и гранулометрического состава аллювия, залесенности или задернованности речной долины и прилегающих склонов, их крутизны, относительных превышений водоразделов над тальвегом, от климата, наличия или отсутствия „вечной“ мерзлоты и множества других причин.

Для интерпретации таких потоков рассеяния В.В. Поликарпочкин [23, 29] и А.Н. Боголюбов [23] предложили более сложные формулы. А.Н. Боголюбов обратил внимание на необходимость при количественной интерпретации литохимических потоков рассеяния учитывать соотношение между поступившим со склона и принесенным водотоком материалами аллювиальных отложений в точке опробования. Однако способ оценки численной величины этих соотношений указан не был. В.В. Поликарпочкин на основе рассмотрения дифференциальных уравнений переноса, отложения и перемыва рыхлого материала в русле реки разработал метод оценки литохимических потоков рассеяния с учетом динамического параметра  $\delta$ , характеризующего конкретные условия. Отыскание

местной величины этого параметра по данным литохимического опробования требовало решения трансцендентного уравнения. Численная устойчивость соответствующих оценок  $\delta$  автором исследована не была. Производственного применения этот метод не получил.

Лучше других запросам практики удовлетворяет решение, предложенное А.П. Солововым и Ю.В. Шваровым [40]. Для интерпретации литохимических потоков рассеяния, не подчиняющихся простейшей теоретической зависимости, было введено понятие о „склоновом коэффициенте аллювия“  $a' \geq 1,0$ . Величина безразмерного коэффициента  $a'$  отвечает кратности участия в аллювии материала ближайших склонов по сравнению с его ожидаемой долей в составе природной средней пробы. Согласно этой модели, формирование реального потока рассеяния подчиняется зависимости

$$S_x \frac{dC_x'}{dS_x} + a' \left( C_x' - \frac{dP}{dS_x} \right) = 0,$$

где  $C_x'$  — содержание рудного элемента в аллювии за вычетом фона;  $P$  — продуктивность вторичного ореола рассеяния на склоне.

При допущении, что склоновый коэффициент аллювия остается постоянным на всем протяжении русла и что все вторичные ореолы на склонах образуют единую общую аномалию, из которой поступление рудного элемента в русло происходит постепенно и равномерно, а за пределами интервала дополнительных аномалий не имеется, оценка местного значения  $a'$  проводится по нисходящей ветви графика  $P_x'$  для точек, расположенных ниже точки конца поступлений рудного материала ( $R$ ), по формуле

$$a' = \ln \left( \frac{C_R' - C_{\Phi}'}{C_x' - C_{\Phi}'} \right) / \ln \left( \frac{S_x}{S_R} \right),$$

где  $C_R'$  и  $S_R$  — соответственно содержание рудного элемента и площадь бассейна водосбора в точке  $R$ . Знание величины коэффициента  $a'$  позволяет по максимальному значению кажущейся продуктивности  $P'_{\max}$  определить величину истинной продуктивности потока рассеяния:

$$P'_{\text{ист}} = P'_{\max} \left[ \frac{1 - (S_{R_0}/S_R)}{1 - (S_{R_0}/S_R)a'} \right] = P'_{\max} \lambda'.$$

Поправочный множитель  $\lambda' \leq 1,0$  зависит от местного значения  $a'$  и соотношения между площадями водосборов в точках начала ( $R_0$ ) и конца ( $R$ ) поступления металла со склона в русло.

В принципе оценку  $P'_{\text{ист}}$  можно провести в любой точке интервала поступления рудного вещества в поток ( $R_0 - R$ ), но лучше для этой цели использовать точку  $R$ , для которой ослабевает действие допущения о равномерном поступлении рудного материала.

Местоположение точки конца привноса металла  $R$  в русло фиксируется по графикам  $P_x' = f(x)$ . Положение точки  $R$  на графиках  $C_x'$  определе-

нию не поддается: при малых значениях  $R_0 \approx 0$  быстрый рост  $C_x'$  сменяется резким падением содержаний металла в потоке рассеяния еще долго до точки  $R$ , ниже которой аномальные содержания убывают (в идеальном случае по гиперболическому закону), асимптотически приближаясь к уровню  $C_{\phi}'$  (рис. 7).

В случае наличия на склоне двух (или нескольких) ореолов рассеяния, образующих сближенные потоки рассеяния, между которыми содержания рудного элемента в русловых отложениях остаются аномальными, „истинную“ продуктивность второго объекта рассчитывают по формуле

$$P'_{II \text{ ист}} = [P'_{II \text{ max}} - P'_{I \text{ max}} \left( \frac{S_{RI}}{S_{RII}} \right)^{\alpha'_I - 1}] \lambda'_{II},$$

где индексы I и II обозначают продуктивности потоков рассеяния двух сближенных объектов [37].

Объективные характеристики литохимических потоков рассеяния (эффективная длина, максимальные содержания, перечень элементов-индикаторов и т.д.) полиметаллических месторождений Казахстана, Средней Азии, Кавказа изучены недостаточно. Провести соответствующие исследования часто бывает невозможно, в связи с полным техногенным искажением природных содержаний рудных элементов в аллювиальных отложениях рек, дренирующих рудные поля эксплуатируемых месторождений. Поэтому приводимые ниже характеристики литохимических потоков рассеяния относятся к мелким полиметаллическим месторождениям и непромышленным рудопроявлением Джунгарского и Заилийского Алатау. Нет сомнений, что аналогичные показатели для потоков рассеяния крупных месторождений были бы существенно выше.

Изучение литохимических потоков рассеяния в горных районах проводилось путем опробования аллювиальных и пролювиальных отложений постоянных и временных водостоков I—III порядков при постоянном шаге опробования 250 м. В пределах известных рудопроявлений в целях получения более полных количественных характеристик и оценки параметров потоков рассеяния шаг опробования сокращался до 100 м. В устьях ручьев первого порядка отбирались две пробы с расстоянием между ними 20—30 м. Пробы просеивались через сито 1 мм и подвергались общему спектральному анализу.

Потоки рассеяния в Джунгарском Алатау изучены на примере притоков рек Каратал и Или, а в Заилийском Алатау притока р. Чу. Районы характеризуются средне- и высокогорным рельефом с абсолютными отметками от 1800 до 2700 м, превышение хребтов над долинами составляет от 300—500 до 1000 м. Речные долины I—III порядков имеют V-образный профиль. Аллювий представлен валунно-галечниковым, гравийно-песчаным, реже илисто-глинистым материалом. Средняя мощность аллювиальных отложений 0,2—0,5 м.

Литохимические потоки рассеяния фиксируются четко, имеют комп-

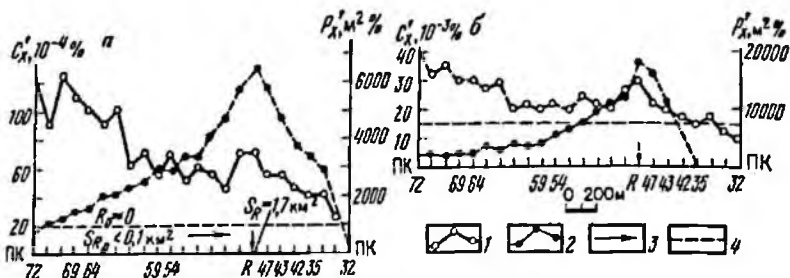


Рис. 7. Графики содержаний  $C_x'$  и продуктивностей  $P_x'$  свинца (а) и цинка (б) потока рассеяния на участке Тыкжол:

1 — графики содержаний; 2 — значения продуктивности по пикетам; 3 — направление стока; 4 — уровень фона

лексный состав, отвечающий элементному составу полиметаллического оруденения. На участке Чонбулак, в Заилийском Алатау, в условиях сильно расчлененного рельефа (абс. отм. 2200 м) формируются высококонтрастные потоки рассеяния свинца (рис. 8), цинка и сопутствующих серебра, меди, висмута и других элементов. На участке Тыкжол известны три рудных объекта, каждый из которых отмечается протяженными литохимическими потоками рассеяния свинца. Один из них прослеживается на уровне  $C_x' = C_{\phi}' \epsilon^2$  вплоть до русла IV порядка на расстояние 6 км. Близкие по протяженности и максимальным содержаниям свинца потоки рассеяния наблюдаются на участке Соркора (рис. 9).

Литохимические потоки рассеяния цинка в пределах изученных участков проявлены слабее. Они характеризуются слабой контрастностью и малой протяженностью. Это объясняется в первую очередь формами миграции цинка в потоках рассеяния; для него значительно большую роль по сравнению со свинцом приобретает химическая форма переноса в виде хлоридных, сульфатных и гидрокарбонатных комплексов [13].

На участке рудопроявления Соркора отмечаются самые протяженные потоки рассеяния серебра ( $> 1$  км), хорошо совпадающие с потоками рассеяния свинца (рис. 10). Максимальные содержания в нескольких точках русла составляют  $5 \cdot 10^{-5} \%$  Ag при фоне  $0,8 \cdot 10^{-5} \%$ . На других участках литохимические потоки рассеяния серебра имеют прерывистый характер и максимальные содержания резко понижены по сравнению с вторичным ореолом рассеяния.

В потоках рассеяния полиметаллических месторождений Джунгарского и Заилийского Алатау медь образует слабоконтрастные непротяженные (первые сотни метров) потоки рассеяния, что связано с общим невысоким (или слабоповышенным) содержанием ее в рудах этих объектов.

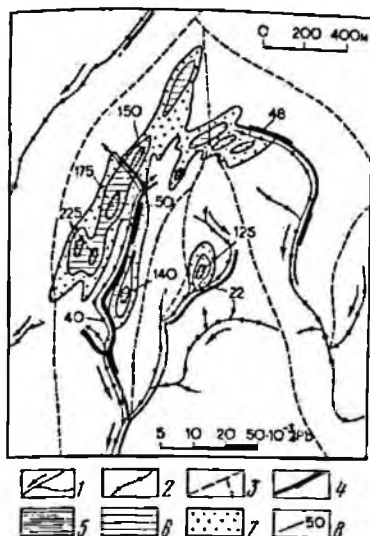


Рис. 8. Вторичные ореолы и потоки рассеяния свинца участка Чонбулак:

1 — опробованные русла ручьев и направление стока; 2 — точки опробования; 3 — водоразделы; 4 — потоки рассеяния; 5—7 — вторичные ореолы рассеяния (в %): 5 —  $> 0,1$ ; 6 —  $0,02-0,1$ ; 7 —  $0,01-0,02$ ; 8 — максимальные содержания свинца в ореолах и потоках рассеяния (в  $\mu \cdot 10^{-3}$  %)



Рис. 9. Вторичные ореолы и потоки рассеяния свинца участка Соркора.

Условные обозначения см. на рис. 8

Для большинства рассмотренных участков литохимические потоки рассеяния мышьяка и молибдена характеризуются значительной контрастностью и протяженностью. На участке Тыкжол максимальные содержания мышьяка и молибдена во вторичном ореоле рассеяния составляют соответственно  $60 \cdot 10^{-3}$  и  $125 \cdot 10^{-5}$  %, а в потоке рассеяния —  $25 \cdot 10^{-3}$  и  $100 \cdot 10^{-5}$  %. Эффективная длина потоков рассеяния мышьяка и молибдена часто не уступает протяженности литохимических потоков рассеяния свинца.

На месторождении Коккус высокой контрастностью характеризуются потоки рассеяния бария и стронция. Максимальные содержания во вторичном ореоле бария здесь достигают 10 %; в потоке рассеяния 0,8 % (в шлихе до 15 %), стронция соответственно 0,16 и 0,06 %. Протяженность потоков рассеяния бария и стронция, как правило, в 1,5–2 раза меньше эффективной длины потоков рассеяния свинца.

Аномальные содержания других типоморфных рудных элементов по-



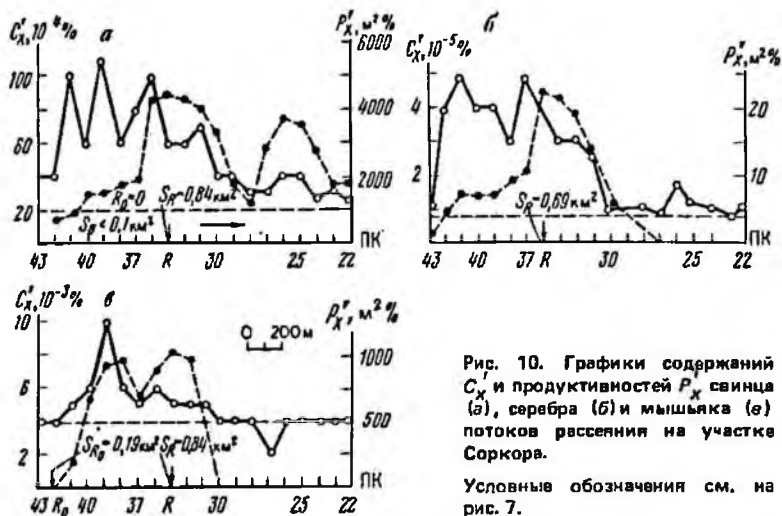


Рис. 10. Графики содержаний  $C_x$  и продуктивностей  $P_x$  свинца (а), серебра (б) и мышьяка (в) потоков рассеяния на участке Соркора.

Условные обозначения см. на рис. 7.

лиметаллических месторождений в литохимических потоках рассеяния фиксируются редко, что связано либо с их невысокими содержаниями в рудах свинцово-цинковых месторождений (олово, кобальт), либо с недостаточной чувствительностью спектрального анализа (сурьма, таллий, кадмий, висмут).

Графики содержаний металла в потоке рассеяния обычно имеют ломаный характер, в том числе и в руслах первого порядка (см. рис. 10). В природных условиях денудация не носит чисто плоскостного (склонового) характера, а протекает неравномерно, развиваясь вдоль безрусловых ложбин стока и других элементов микрорельефа. Поэтому привнос рыхлого материала в количественном отношении распределен вдоль потока неравномерно и носит скачкообразный характер. Сходную картину создает присутствие нескольких рудных тел или непостоянство количества металла в ореоле по простиранию рудной зоны и т.п. Другая причина резких изменений содержаний металла в пробах — скачкообразное возрастание площадей водосборов при слиянии двух рек или впадении боковых притоков в основное русло, по которому ведется опробование.

Потоки рассеяния полиметаллического оруденения Таласского Алатау, Угамского хребта, Каржантау характеризуются высокой контрастностью и значительной протяженностью [37]. Эффективная длина литохимических потоков рассеяния свинца на изученных территориях составляет 1–4 км, а максимальные содержания — 0,2–0,3 % при фоне 0,002 % Рь. Н.В. Квашневской описаны потоки рассеяния, в которых содержания свинца и цинка для фракции аллювия < 0,25 мм

достигают десятков долей процентов (иногда до 1 %). Протяженность наиболее значительных потоков рассеяния свинца и цинка возрастает до 2—3 км. Некоторые потоки рассеяния связаны с известными рудопоявлениями, в других случаях они помогают выявлять новые перспективные площади, по каким-либо причинам пропущенные при литохимической съемке по вторичным ореолам рассеяния.

Интересные сведения о потоках рассеяния полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья приводит В.В. Поликарпочкин [29].

Конечный результат количественной интерпретации литохимических потоков рассеяния — оценка их продуктивности и получение цифр прогнозных ресурсов  $Q'_H$  металлов согласно зависимости [37]

$$Q'_H = H \frac{1}{40k'k} \sum_{i=1}^m P'_{ист\ i}$$

где  $H$  — целесообразная глубина подсчета;  $k'$ ,  $k$  — соответственно коэффициенты пропорциональности между продуктивностями потоков и ореолов рассеяния, вторичного ореола рассеяния и коренного оруденения;  $m$  — число смежных русел, дренирующих рудное поле выявленного месторождения.

Выбор глубины  $H$  подсчета прогнозных ресурсов в общем случае и при недостатке других данных целесообразно связывать с продуктивностью оруденения. Вполне очевидно, что крупному месторождению с большой продуктивностью, при прочих равных условиях, отвечает большая глубина распространения руд по сравнению с мелким месторождением, имеющим малую продуктивность. Более подробно обоснование выбора глубины подсчета прогнозных ресурсов рассматривается в главах 3 и 4.

Для оценки масштаба оруденения по выявленным параметрам потоков рассеяния необходимо знать величину коэффициента пропорциональности  $k'$  между продуктивностями вторичного ореола рассеяния и связанного с ним реального потока рассеяния. Определение величин этого показателя проводится на участках с известными значениями продуктивностей вторичных ореолов рассеяния путем сопоставления продуктивностей вторичных литохимических ореолов рассеяния с продуктивностями потоков рассеяния. Оценки  $k'$  для каждого из рудных элементов целесообразны по интервалам потоков рассеяния с наиболее высокими значениями  $C'_x$ , приближенно удовлетворяющими условию  $P'_x = \text{const}$ , или с определением  $P'_{ист}$ .

Средние значения коэффициентов  $k'$  для рудных элементов в различных районах и геохимических ландшафтах Казахстана, Средней Азии, Забайкалья, Северо-Востока СССР близки к единице (табл. 2). Для некоторых районов устанавливаются значимые различия между повышенными значениями  $k'$  для молибдена и цинка. Вероятно, в условиях аридного климата молибден накапливается в форме труднорастворимого повеллита. В условиях повышенной водной миграции цинка при резком измене-

нии обстановки возможно его осаждение на щелочном геохимическом барьере,

Основное количество металлов, концентрирующихся в тонкозернистой фракции аллювия (< 1,0 мм), представлено собственными вторичными и первичными минералами, частично сорбированными илесто-глинистыми фракциями аллювия. Рудные элементы, представленные тяжелыми, устойчивыми в зоне гипергенеза минералами, образуют обогащенные потоки рассеяния. Для ряда полиметаллических объектов Джунгарского Алатау, Заилийского Алатау, Каратау коэффициенты пропорциональности составляют для барита 3,77, для олова 3,81, что объясняется накоплением этих элементов в виде барита и касситерита.

С оценкой местных значений  $k'$  для различных рудных элементов связана задача установления генетического типа и уровня эрозионного среза коренного оруденения по геохимическим характеристикам потоков рассеяния. В горных районах в условиях активной современной денудации значительного перераспределения рудных элементов в аллювии не происходит (см. табл. 2). При слабом влиянии гипергенного перераспределения рудных элементов в аллювиальных отложениях оценка уровня эрозионного среза выявляемого оруденения может проводиться непосредственно по результатам опробования потоков рассеяния. Так, при поисках и оценке слепого оруденения восточного фланга Сумсарского рудного поля (Киргизия) В.И. Злобинский предлагает геохимические показатели  $\nu$  типа  $Ag/Pb$  или  $Ag/Zn$ , полученные при исследовании эндогенной зональности свинцово-цинкового месторождения Сумсар.

Литохимические съемки по потокам рассеяния в горных районах с целью поисков слепых месторождений могут проводиться с определенными ограничениями. Неблагоприятное значение при этом имеют малые величины площадных продуктивностей надрудных первичных ореолов. В отличие от горных районов возможность поисков рудных месторождений по их литохимическим потокам рассеяния в условиях полузакрытых

Таблица 2  
Значения коэффициентов пропорциональности

Рудный элемент	Северо-Восток СССР [37] *		Горные районы Казахстана		Средняя Азия [23, 37]	
	$k'$	$\epsilon$	$k'$	$\epsilon$	$k'$	$\epsilon$
Свинец	1,09 (55) **	1,44	1,02 (10)	1,14	1,53 (14)	1,17
Цинк	2,11 (42)	1,43	0,95 (9)	1,33	0,87 (10)	1,29
Серебро	0,79 (54)	1,33	1,18 (6)	1,19	—	—
Мышьяк	1,22 (33)	1,31	1,21 (5)	1,18	—	—
Молибден	1,04 (19)	1,16	2,23 (4)	1,15	1,97 (12)	1,12

\* Включая данные Э.Г. Абисалова и Г.И. Хорина.

\*\* В скобках указано число определений.

слабо расчлененных равнин представляется сомнительной. В частности, попытки такого рода в районе полиметаллических рудопроявлений Ойстрику (Эстонская ССР) в практическом отношении оказались безрезультатными. Цель литохимических съемок, проводимых путем опробования отложений гидросети, расчленяющей только породы платформенного чехла, — геохимическая характеристика его состава и поиски осадочных полезных ископаемых. Погребенные месторождения, залегающие в складчатом фундаменте, этими съемками выявляться не будут.

#### ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И ПАРАМЕТРЫ ВТОРИЧНЫХ ОСТАТОЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ

Образование гипергенных литохимических ореолов рассеяния определяется историей геологического развития территорий, в первую очередь процессами современного и палеоклиматического выветривания. В послепалеозойское время для значительной части территории Советского Союза было характерно длительное континентальное развитие, приведшее к формированию площадных кор выветривания. По данным В.П. Петрова, продукты древнего мезозойского выветривания сохранились в Средней Азии, Забайкалье, Приморье. Широко распространены погребенные триас-юрские коры выветривания на территории Северного Казахстана. В целом мезо-кайнозойские коры выветривания сохраняются на реликтах поверхностей выравнивания; их фрагменты местами наблюдаются на столовых поверхностях в горах Средней Азии, Казахстана, Северо-Востока СССР и южной части Сибири. Для большей части остальной территории Союза (в первую очередь для горных районов) образование вторичных остаточных ореолов рассеяния связано с процессами гипергенеза позднего кайнозоя, приведшими к формированию современного рельефа и новейших элювио-делювиальных образований ограниченной мощности, имеющих повсеместное распространение.

Гранулометрический и минеральный состав элювио-делювия зависит от условий гипергенеза и петрографического состава коренных пород. В суровых климатических условиях высокогорья образуется грубообломочный элювио-делювий с небольшим выходом тонкозернистого материала (менее 10%). Физическое выветривание ограничено первыми метрами и его интенсивность на глубине 1,0 — 1,5 м резко снижена. Минеральный состав фракций (> 10 мм; 10—1 мм; 1—0,1 мм) элювио-делювия, развивающегося на вулканогенно-осадочных породах, достаточно однообразен: помимо обломков пород широко распространены кварц и полевые шпаты. В тонкозернистой составляющей (0,1—0,01, < 0,01 мм) наряду с кварцем и полевыми шпатами отмечаются мусковит и хлорит.

Дресвяно-щебенистый и глинисто-щебенистый элювио-делювий распространен преимущественно в средне- и низкогорных ландшафтах, где он, как правило, развивается по грубообломочным образованиям. В этих

условиях наряду с физическим выветриванием возрастающую роль начинают играть химические и биогенные процессы, активность которых подчиняется ландшафтно-климатической зональности горных областей. Широко распространены в них гидрослюды и дисперсные глинистые минералы — монтмориллонит, бейделлит, галлуазит, каолинит, которые почти нацело слагают самую тонкую фракцию ( $< 0,001$  мм). Тонкодисперсная часть элювио-делювия, развивающегося на терригенно-карбонатных отложениях, представлена преимущественно каолинитом, кварцем и гидроксидами железа.

По вертикальному разрезу рыхлых образований наблюдается постепенная смена различных стадий процесса выветривания. Верхние горизонты зоны выветривания характеризуются достаточно полным разложением первичных минералов и выносом растворимых компонентов, в то время как уже на небольшой глубине характер выветривания соответствует начальной стадии процесса. В одних и тех же климатических условиях в зависимости от характера рельефа, экспозиции склонов и типа растительности процессы выветривания проявлены в различной степени.

Направленность геохимических процессов, протекающих в зоне гипергенеза, хорошо устанавливается при рассмотрении баланса распределения рудных элементов по классам крупности для различных горизонтов элювио-делювия. Условия развития вторичных ореолов рассеяния полиметаллического оруденения детально изучались на примере рудопроявлений Комаровское и Промежуточное (Рудный Алтай). Участки приурочены к юго-западному крылу Комаровской антиклинали, сложеной вулканогенно-осадочными породами маслянской и хамирской свит среднего девона. Полиметаллическое оруденение представлено кварцевожильным типом и локализуется в мелких зонах дробления и расщепления. В орографическом и климатическом отношении участки достаточно близки. Температурный режим, влажность, характер рельефа приводят к общности биологических компонентов ландшафтов (растительность, почвы) и влияют на скорость протекания гипергенных процессов. Район характеризуется среднегорным расчлененным рельефом с относительными превышениями водоразделов над долинами от 300 до 500 м. Склоны северной экспозиции, как правило, задернованы, покрыты лесом; над южной — преобладает древесно-кустарниковая растительность. На этих участках преимущественно распространены дресвяно-щебенистые, в меньшей степени глинисто-щебенистые (Промежуточный) элювио-делювиальные образования мощностью 2—2,5 м.

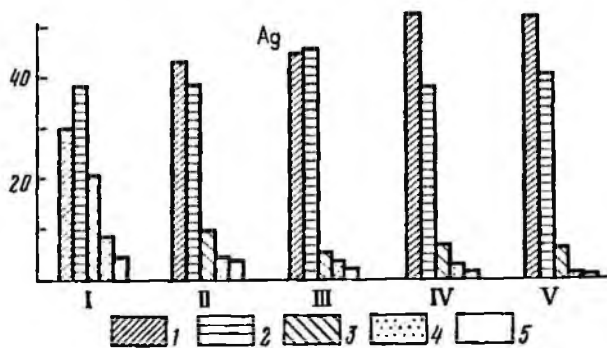
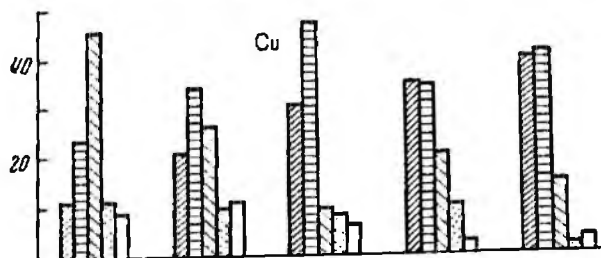
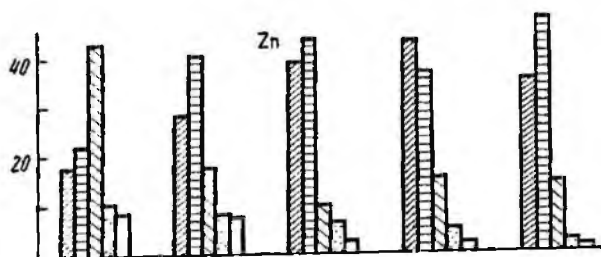
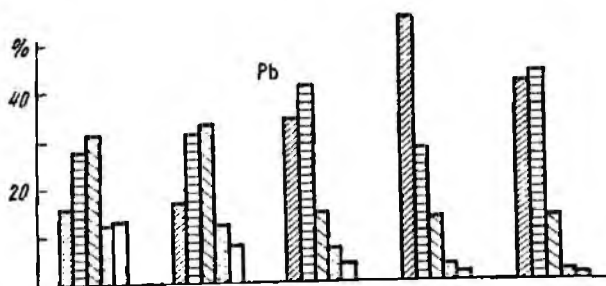
Распределение рудных элементов по различным классам крупности частиц зависит от характера покровных образований и ландшафтных условий. В нижнем щебенистом горизонте элювия основное количество рудных элементов сосредоточено в крупных классах. Во фракциях  $> 10$  мм, 10—1 мм, составляющих порядка 70—80 % элювия, заключено от 64 до 92 % валового количества металлов. В мелкообломочных клас-

сах количество металла соответственно убывает от более крупных к более тонким фракциям. Алеврито-песчаная фракция (1—0,1 мм) содержит от 7 до 22 % от суммы рудных элементов, алевритовая (0,1—0,01 мм) — от 0,9 до 9 %, а коллоидно-дисперсная (< 0,01 мм) — от 0,2 до 6 %.

В залегающем выше по разрезу суглинисто-щебенистом горизонте элювио-делювия, вследствие увеличения времени выветривания (гипергенного преобразования), возрастает количество тонкодисперсной массы и намечается рост валового количества металла в тонких фракциях. На участке Комаровский доля металла, заключенного в классах крупности менее 1 мм, составляет от 10 до 41 % (рис. 11), а на рудопроявлении Промежуточное в глинисто-щебенистом горизонте элювио-делювия — от 65 до 85 % (рис. 12). При этом происходит относительное обогащение самой тонкой коллоидно-дисперсной фракции свинцом, висмутом, молибденом, мышьяком, серебром, цинком, медью. Несмотря на сравнительно малый выход фракции < 0,01 мм (3 % на Комаровском и 12 % на Промежуточном), в ней накапливается в среднем значительное количество металла — от 5 % на участке Комаровском до 16 % на Промежуточном, что связано с сорбцией рудных элементов коллоидно-дисперсными частицами глинистых минералов и коллоидными гидроксидами алюминия и железа [27, 34]. Существование области обогащения, соответствующей пылевато-глинистым частицам, отмечается также в районах развития многолетней мерзлоты [28].

В верхних почвенных горизонтах элювио-делювия наблюдается дальнейшее увеличение валового количества металла в мелких классах по сравнению с более крупными. Наибольшим количеством рудных элементов характеризуется алеврито-песчаная фракция (1—0,1 мм). Главную роль концентраторов металлов в этом классе образований играют, по-видимому, гидроксиды железа и марганца. Их значение отмечалось при изучении вторичных остаточных ореолов рассеяния в Центральном Казахстане, Восточном Забайкалье и других районах [21]. Незначительные отклонения от этой зависимости наблюдаются вблизи дневной поверхности в связи с протекающими здесь почвенными процессами и влиянием границы раздела земля — воздух. Это приводит, в частности, к возможному возрастанию количеств некоторых элементов (цинка, меди, свинца, молибдена) в тонких фракциях за счет их биогенного и сорбционного накопления.

На распределение рудных элементов значительное влияние оказывает экспозиция склонов: северные склоны из-за лучшей увлажненности сильнее проработаны гипергенными процессами. При формировании ореолов рассеяния в этих условиях большую роль играют солевые формы нахождения элементов, закрепление которых происходит на тонкодисперсных фракциях элювио-делювия. Количество металлов, заключенных в самом тонком классе почвенных горизонтов, для северных скло-



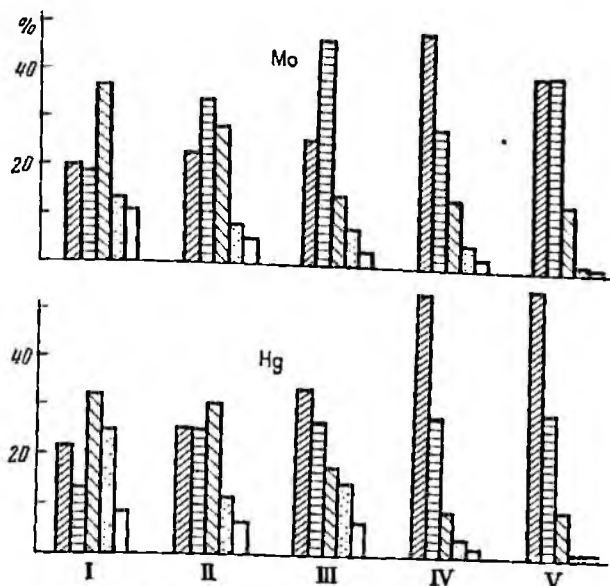


Рис. 11. Распределение рудных элементов по фракциям в профиле вторичного ореола рассеяния участка Комаровский.

Горизонты элювио-делювия: I—II — почвенные (I — глубина 0,1 м, II — глубина 0,25 м); III — суглинисто-щебенистый, глубина 1 м; IV—V — щебенистый, глубина соответственно 1,8 м и 2,1 м.

1—5 — размер фракций (в мм): 1 — > 10; 2 — 10—1; 3 — 1—0,1; 4 — 0,1 — 0,01; 5 — < 0,01

нов в 1,5—2,5 раза превышает количество тех же металлов для южных склонов.

Возрастание абсолютного уровня содержаний рудного элемента ( $C_{\max}$ ) в некоторых фракциях элювио-делювия не всегда отвечает увеличению показателя контрастности литохимической аномалии ( $\gamma$ ) в силу его одновременной зависимости от местного фонового содержания ( $C_{\phi}$ ) и стандартного отклонения (множителя) геохимического поля ( $S_{lg}, \epsilon$ ):

$$\gamma = \frac{\lg C_{\max} - \lg C_{\phi}}{S_{lg}} = \frac{1}{\lg \epsilon} \lg \left( \frac{C_{\max}}{C_{\phi}} \right). \quad (1)$$

При принятом способе опробования величины природных колебаний содержаний  $\epsilon$  не зависят от точности съемок: они определяются степенью гипергенного преобразования пород и руд и уменьшаются по мере увеличения времени выветривания. Величина  $\epsilon$  может характеризовать соотношение между минеральной и безминеральной формами нахождения



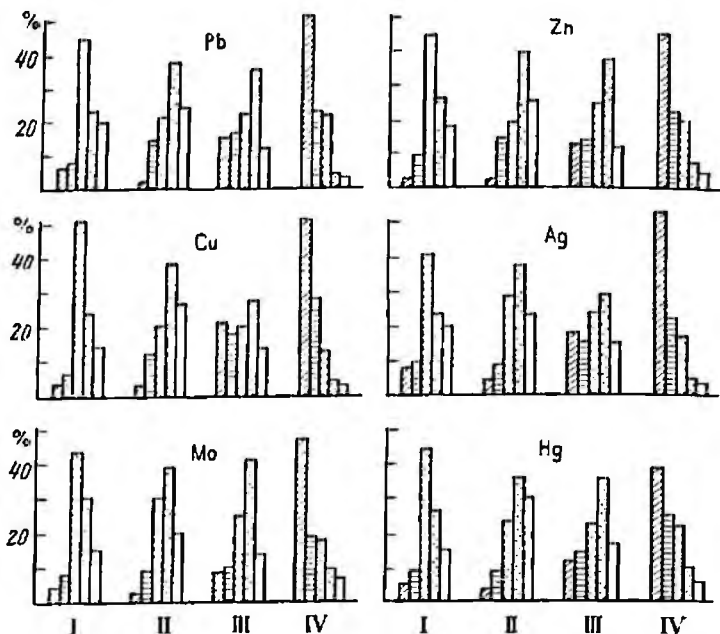


Рис. 12. Распределение рудных элементов по фракциям в профиле вторичного ореола рассеяния участка Промажуточный.

Горизонты элювио-делювия: I—II — почвенные (I — глубина 0,15 м, II — глубина 0,4 м); III — глинисто-щебенистый, глубина 1,2 м; IV — щебенистый, глубина 2 м. Размеры фракций указаны на рис. 11

рудных элементов в различных фракциях: она выше в той фракции, в которой преобладают минеральные формы [21]. В табл. 3 приводится пример оценки  $\gamma$  для вторичного ореола рассеяния свинца колчеданно-полиметаллического оруденения. В зависимости от условий пробоотбора и размера фракций наблюдается закономерное снижение  $\epsilon$  и усиление  $\gamma$  при переходе от крупных фракций элювио-делювия к более мелким.

Эффективные размеры вторичных ореолов рассеяния закономерно возрастают с увеличением показателя контрастности. На том же участке эффективная ширина ореола рассеяния свинца (2а) для фракции  $> 10$ –1 мм с контрастностью 4,4 составляет не более 50 м, а для фракции 0,1–0,01 мм ( $\gamma = 10,3$ ) — 65 м. На рудопоявлении Комаровское эффективная ширина ореола, оцененная в контуре содержаний  $> 0,01$  % Pb для фракции  $> 10$  мм, составила 46 м, а для фракции 0,1–0,01 мм — 70 м (рис. 13).

Таблица 3

Контрастность вторичных ореолов рассеяния самца в элювио-делювиальных горизонтах участка Яблоновое

Условия пробоотбора			Размер фракций, мм	Параметры фона		$C_{max} \cdot 10^{-4} \%$	$\gamma$
Глубина, м	Почвенный горизонт	Характеристика почвенных горизонтов		$C_{фр} \cdot 10^{-4} \%$	$\epsilon$		
0,1—0,25	AB	Комковатый гумусированный песчаносуглинистый с щебенкой вмещающих пород (10—15%). Не вскипает с HCl	10—1	21	2,3	800	4,4
			1—0,1	29	1,4	200	5,7
			0,01—0,1	23	1,2	150	10,3
			<0,01	19	1,2	200	12,9
			<1,0	22	1,3	300	10,0
0,4—0,55	B	Суглинистый, желтовато-бурый с дресвой и щебнем (20—30%). Слабо вскипает с HCl	10—1	28	2,1	600	4,1
			1—0,1	34	1,5	500	6,6
			0,1—0,01	27	1,4	400	8,0
			<0,01	27	1,6	500	6,2
			<1,0	29	1,5	325	6,0
1,5—2,0	C	Щебенистый, выветрелые алевролиты, известково-глинистые сланцы, известняки. Бурно вскипает с HCl	10—1	34	2,6	900	3,4
			1—0,1	37	1,8	550	4,6
			0,1—0,01	23	1,5	500	7,6
			<0,01	30	1,5	550	7,2
			<1,0	28	1,4	400	7,9

Факторы, обуславливающие формирование вторичных ореолов рассеяния в современном элювио-делювии, сохраняются и в зоне окисления месторождений. Характер зон окисления и степень изменения рудного вещества зависят от климатических, литологических, геолого-структурных и минералогических условий. Наиболее контрастно процессы гипергенного преобразования рудного вещества проявлены в зоне окисления сульфидных месторождений, где создаются условия для активного химического выветривания (присутствие свободной серной кислоты и растворимых сульфатов).

Формирование зон окисления полиметаллических месторождений происходило в различные геологические эпохи до настоящего времени в обстановке изменяющегося климата: древнее выветривание обычно протекало в условиях теплого гумидного тропического или субтропического климата и выровненной поверхности; в неоген-четвертичное время оно происходило в условиях аридного — семигумидного климата. Зоны окисления большинства полиметаллических месторождений, сформированных в протерозойскую, каледонскую и герцинскую эпохи, относятся к раннемезозойскому времени. Месторождения Приморья, некоторые месторождения Забайкалья характеризуются зонами окисления палеоген-неогенового возраста.

На полиметаллических месторождениях границы окисленных руд проходят на глубинах от первых метров до 100 м и более от поверхности. Особенно интенсивно гипергенные изменения пород и руд наблюдаются до глубин 10–20 м, что соответствует зоне активного влаго- и массообмена вещества. По данным Б.И. Вейц, нижние границы зон окисления полиметаллических месторождений Рудного Алтая расположены от 20 до 100 м и более от дневной поверхности. В ряде случаев минералы зоны вторичного сульфидного обогащения фиксируются до глубины 375 м (Николаевское месторождение). Многие месторождения Восточного Забайкалья, особенно залегающие в известковых породах, по данным С.С. Смирнова, окислены до глубин не менее 100 м.

Мощную зону окисления имеет месторождение Ачисай, на котором

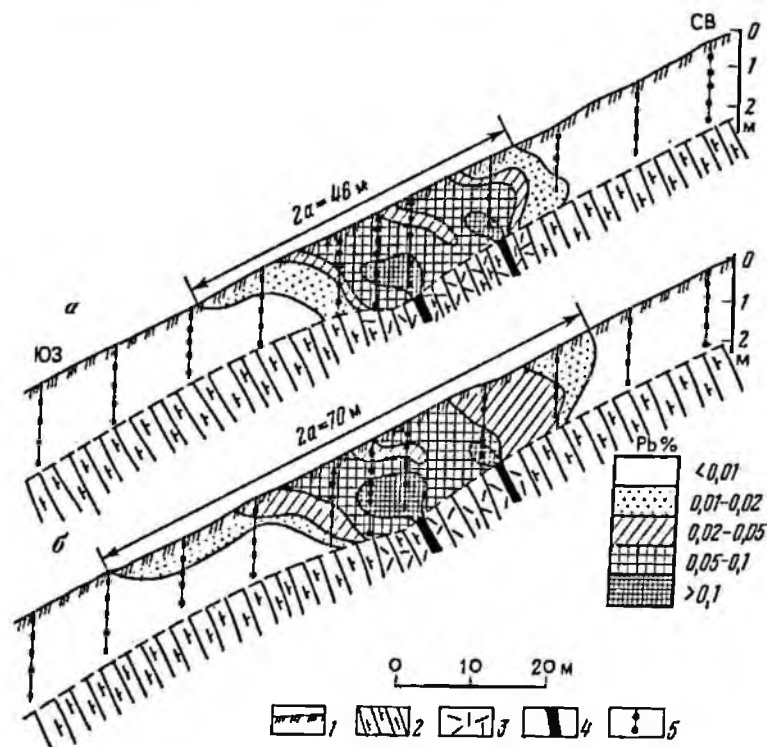


Рис. 13. Распределение свинца во фракциях  $> 10$  мм (а) и 0,1–0,01 мм (б) остаточного орвала рассеяния рудопроявления Комаровское:

1 — элювио-дельтовый; 2 — туфы кислого состава; 3 — зона трещиноватости; 4 — рудный тела; 5 — точки опробования

до глубины 200–250 м полиметаллические руды окислены полностью, а до глубины 450 м встречаются минералы зоны окисления. Окисленные свинцовые руды (церуссит) накопились на месте первичных сульфидных руд, а окисленные цинковые руды (смитсонит) переотложены в породах лежащего бока рудной зоны [32]. Окисление руд сопровождалось интенсивным карстообразованием и формированием брекчий обрушения. В результате окисленные свинцовые руды часто залегают на глубине более 60–80 м от поверхности. Из зафиксированных на месторождении 64 рудных тел только 4 обнажаются на дневной поверхности [32]. Высокая устойчивость церуссита к процессам растворения (растворимость  $PbCO_3$  1 мг/л) по отношению к основному породообразующему минералу кальциту (растворимость 7 мг/л) позволяла ему накапливаться в элювио-делювии. Этим объясняется высокая надежность выявления вторичных ореолов рассеяния свинца над слепыми рудными телами месторождения Ачисай (рис. 14). Проведенная литохимическая съемка масштаба 1:2000 рудного поля месторождения (А.П. Соловов, В.З. Фурсов) позволила выявить на поверхности ореолы рассеяния слепых рудных тел, обнаруженных затем горными работами и бурением.

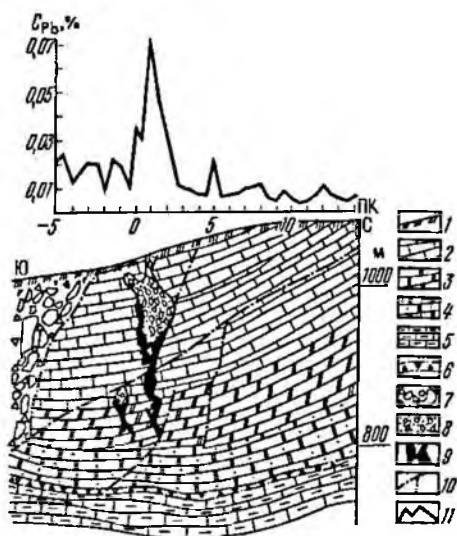


Рис. 14. Вторичный ореол рассеяния свинца над основной залежью месторождения Ачисай. По И.И. Князеву и А.П. Соловову.

1 — элювио-делювий; 2 — рудничный турланский горизонт; 3 — искристый горизонт; 4 — базальный горизонт; 5 — мергелистые отложения верхнего девона; 6 — тектоническая брекчия; 7 — брекчия; 8 — брекчия обрушения; 9 — рудное тело; 10 — тектонические нарушения; 11 — график содержаний свинца

Вторичные ореолы рассеяния цинка проявлены намного слабее, что связано с повышенной растворимостью смитсонита (растворимость 40 мг/л) по сравнению с кальцитом. В специфических природных условиях при выветривании возможно образование больших скоплений слабо растворимых карбонатов и силикатов цинка, как например, на Ачисе (смитсонит) или на виллемитовых месторождениях Папуа-Новой Гвинеи, сформированных в результате гипергенных процессов. Среднее содержание цинка в рудах последних составляет 23 %. При повышенной растворимости солей цинка образование литохимических ореолов рассеяния над слепыми полиметаллическими залежами возможно за счет закрепления в почвах рудных компонентов из восходящих вод по рудоконтролирующим разломам. Именно так объясняет Р.Б. Фултон формирование ореолов рассеяния цинка ( $C_{\max} = 0,3\%$ ) над полиметаллическим месторождением Остенвилл, расположенным на глубине до 250 м.

Зона окисления Шубинского колчеданно-полиметаллического месторождения с поверхности представлена „железной шляпой“, в верхней части которой резко преобладают оксиды и гидроксиды железа (гематит, гётит, гидрогётит и их смеси). Ниже, на глубине 10–22 м, широкое развитие получают глинистые образования с гидроксидами железа и ярозитом, постепенно переходящие в кремнистую сыпучку, кварцевые „сухари“ и кавернозно-ячеистые кварциты. Во всех этих образованиях преимущественным распространением пользуются гидроксиды железа, а в основании разреза полуокисленные сульфидные руды с переходом в области неизмененных пород в густовкрапленные руды свежего облика. Примечательно, что в пределах зоны окисления месторождения отсутствует подзона вторичного сульфидного обогащения, что обусловлено природными особенностями участка, создающими интенсивный промывной режим в зоне гипергенеза. Мощность зоны окисления Шубинского месторождения колеблется от 20 до 95 м.

На рис. 15 приводятся разрез через зону окисления и графики изменения количеств металлов с глубиной по профилю IV. Для большинства рудных элементов, кроме свинца, наблюдается значительное выщелачивание из верхних горизонтов зоны окисления, приводящее к резкому ослаблению вторичных ореолов рассеяния Шубинского месторождения. Особенно сильный вынос рудных элементов отмечается в подзоне „железной шляпы“. Коэффициенты остаточной продуктивности  $k$ , характеризующие вынос или накопление химического элемента в зоне гипергенеза (см. ниже), для цинка и меди составляют 0,05 и 0,08, что соответствует ослаблению вторичных ореолов рассеяния в этой подзоне в 2 и 12,5 раза. Менее резко выносятся висмут, серебро, кадмий. Вместе с тем в верхних горизонтах зоны окисления закономерно накопление бария и молибдена. Коэффициенты остаточной продуктивности для этих элементов определяются значениями  $k_{Ba} = 8,6$ ,  $k_{Mo} = 4,3$ . Очень большая величина найденного коэффициента остаточной продуктивности для бария,

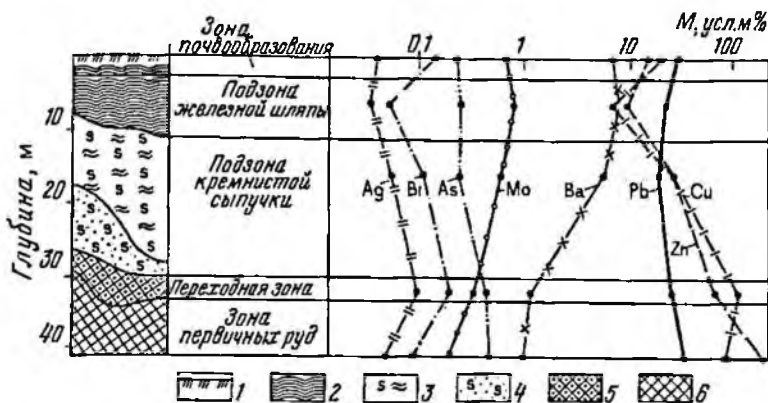


Рис. 16. Линейные продуктивности рудных элементов в зоне окисления Шубинского месторождения:

1 — почвенный слой; 2 — бурый железняк; 3 — каолинит с гидроксидами железа и вроситом; 4 — кремнистая сыпучка, кварцевые „сухари“, кварцево-ячеистые кварциты; 5 — полуокисленные руды; 6 — колчеданно-полиметаллическая руда

возможно, частично обусловлена первичной (эндогенной) зональностью его отложения. На протяжении 40 м по вертикали его количество могло уменьшиться в 3—4 раза только по этой причине (см. гл. 3).

Перераспределение рудных элементов в зоне окисления полиметаллических месторождений Рудного Алтая, по данным И.Ф. Мясникова, отчетливо прослеживается при рассмотрении геохимического показателя

$\frac{Ag \cdot Pb \cdot As}{Zn \cdot Co \cdot Ni}$ , в числителе которого представлены элементы малоподвижные в рассматриваемых условиях, в знаменателе — способные к интенсивному выщелачиванию. Этот коэффициент для зон окисления промышленных месторождений составляет  $n \cdot 10^2$ , а для рудопроявлений —  $n \cdot 10^{-1}$ .

Отличную от описанной выше картину распределения металлов имеем в зоне окисления колчеданно-полиметаллического месторождения Яблоновое, расположенного среди углисто-глинистых сланцев, известняков и доломитов. По составу руд, строению и количеству в них сульфидной серы месторождение Яблоновое близко к Шубинскому. Минералы зоны окисления представлены: гидроксидами железа, церусситом, англезитом, смитсонитом, ковеллином, халькозином.

Зона окисления распространяется до глубины 50—70 м, однако сильного выщелачивания рудных элементов из верхних горизонтов не происходит, а иногда имеет место частичное накопление металлов за счет

их сорбции с образованием труднорастворимых карбонатных соединений или фиксации на гидроксидах железа в условиях слабощелочной обстановки (рН от 7,4 до 7,6). Кислые растворы, возникающие при окислении колчеданных руд, не только полностью нейтрализуются, но и даже частично ощелачиваются. В присутствии карбонатного материала в окисленных рудах месторождения даже при наличии в них большого количества пирита и пирротина не приходится ожидать горизонтов и участков кислого выщелачивания (сыпучек), а в минеральном составе зоны окисления широко развиты первотолженный кварц и гипергенные карбонаты (кальцит), т.е. минералы устойчивые в нейтрально-щелочных условиях, а также гипс.

Ряд перераспределения рудных элементов, ранжированных по мере роста значений коэффициента остаточной продуктивности, показывает, что значительного выщелачивания и накопления элементов в зоне окисления не происходит:

(Mo,	Sb,	As)	—Zn—	Pb—	Cu—	Ag—	Cd
0,55	0,56	0,57	0,77	1,43	1,56	1,69	2,28

Рудные зоны, выведенные на поверхность, как объект поисков и оценки обладают резко различными свойствами по отношению к агентам выветривания, проявляющимися, с одной стороны, в интенсивном выщелачивании части металлов из зоны окисления и разубоживании поверхностных выходов, а с другой — в переходе рудного вещества в устойчивые в зоне гипергенеза минеральные и безминеральные формы. В результате этих процессов в элювио-делювии образуются остаточные, существенно механические, вторичные ореолы рассеяния.

Доля легкоподвижных форм, извлекаемых из ореолов рассеяния слабокислыми вытяжками, невелика. Для горно-степных семиаридных ландшафтов Джунгарского Алатау, развитых на терригенно-карбонатных породах, солевая составляющая для свинца и цинка не превышает 6 и 12 %; для горно-лесных Рудного Алтая — соответственно 15 и 22 %.

Сведений по сводному балансу форм нахождения рудных элементов в литохимических ореолах рассеяния полиметаллических месторождений мало. По данным И.Ф. Мясникова и Ю.Е. Саета [25, 34], основными минеральными формами нахождения рудных элементов в остаточных ореолах рассеяния месторождений Рудного Алтая являются сульфиды, оксиды, карбонаты, сульфаты и ферриформы; в остаточных и наложенных ореолах рассеяния месторождений Центрального Казахстана — карбонаты, сложные оксиды, вторичные сульфиды, хлориды, ферриформы, ванадаты, арсенаты, фосфаты и простые оксиды.

Формирование литохимических ореолов рассеяния определяется действием физического и химического выветривания горных пород и руд с последующей денудацией продуктов выветривания. В составе этих сложных процессов А.П. Соловов выделяет три более простых взаимо-

связанных явления [5]: 1) отрыв частиц с поверхности и перенос к базису денудации; 2) движение всей массы частиц к подножию склона под действием силы тяжести; 3) взаимные беспорядочные перемещения частиц внутри элювио-делювиальных образований. С учетом длительности геологического времени и огромного числа „частиц“, слагающих элювио-делювиальные образования, этим термином объединяются и крупные обломки горных пород, и частицы ионно-молекулярных размеров.

1. Продукты физического, химического и биогенного выветривания, под действием стекающих атмосферных осадков — выпадающих дождей и таяния снега — смываются со склонов и сносятся к местному базису денудации, в речную сеть, формируя потоки рассеяния. В результате этого процесса происходит постоянное обновление остаточных ореолов рассеяния. В горных районах в условиях динамического равновесия между выветриванием и денудацией длительность элювиального выветривания определяется временем ( $T_z$ ) из соотношения:  $T_z = (h - z) / \Delta h$ , где  $\Delta h$  — ежегодный слой денудации;  $h$  — мощность продуктов выветривания;  $z \leq h$  — глубина от дневной поверхности. Из выражения следует, что при граничных значениях  $z$  время выветривания будет максимальным ( $T_0 = T_{\max}$ ) на поверхности рыхлых образований ( $z = 0$ ) и близкое к нулю при  $z = h$ . Значения ежегодного слоя денудации зависят от живой силы и растворяющего действия атмосферных осадков. Важнейшими причинами, оказывающими влияние на величину  $\Delta h$ , являются угол склона  $\alpha$ , длина склона, интенсивность осадков. Отмеченное существенное различие в скорости плоскостной денудации обусловлено степенью развития растительного покрова. Менее существенно влияние быстроты просачивания влаги в грунт, микронеровностей и других факторов [4]. Для среднегорных лесных ландшафтов Джунгарского Алатау и Рудного Алтая фактором, определяющим величину ежегодного слоя денудации, является угол склона; другие действующие причины сопоставимы между собой. Для изученных районов зависимость  $\Delta h$  (мм/год) от  $\alpha$  может быть представлена в виде

$$\Delta h = 7 \cdot 10^{-5} \alpha^2 + 1,2 \cdot 10^{-3} \alpha + 0,02.$$

2. В результате слабых напряжений сдвига, испытываемых рыхлыми продуктами выветривания на склонах, вся масса элювио-делювия находится в состоянии медленного движения вниз по склону. Этот процесс определяет деформацию остаточных ореолов рассеяния и смещения точки максимального содержания ( $C_{\max}$ ) от ее первоначального положения вдоль оси рудного тела до начала выветривания. На величину смещения оказывают влияние угол склона, мощность элювио-делювиальных образований, литологический и петрографический состав материнских пород, а также степень увлажненности склоновых образований. Скорость смещения тем больше, чем больше влагонасыщенность пород, что связано с ослаблением сцепления между частицами и уменьшением вязкости



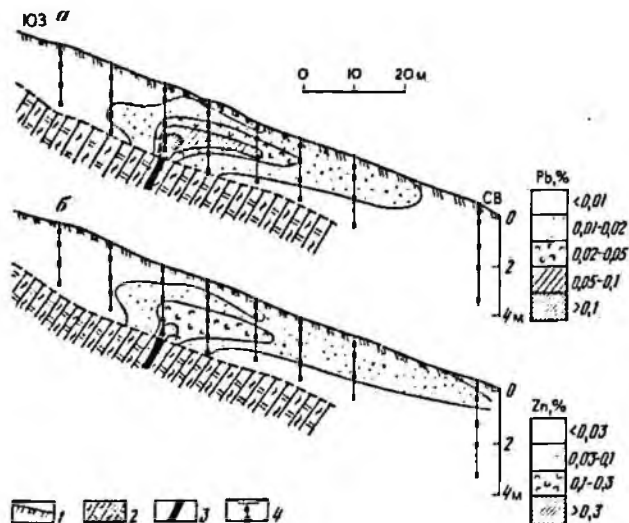


Рис. 16. Вертикальные разрезы вторичных ореолов рассеяния свинца (а) и цинка (б) рудопровяление Промежуточное:

1 — элювио-далувий; 2 — кварц-серицитовые сланцы; 3 — рудная жила; 4 — точки опробования

рыхлых продуктов. Менее значительно влияние растительности, микро-рельефа земной поверхности, микроклимата и других факторов.

На поверхности плоского горного склона литохимический ореол рассеяния рудного тела, падающего по нормали к дневной поверхности, смещается к подножию склона на расстояние  $S_{\alpha}$  определяемое зависимостью [37]  $S_{\alpha} = Ah^2 \sin \alpha$ . Здесь  $A = (gT_0)/12 \nu$  — местный коэффициент, где  $g$  — ускорение свободного падения,  $T_0 = h/\Delta h$  и  $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости верхнего горизонта рыхлых образований.

Для условий Рудного Алтая смещение вторичных ореолов рассеяния на плоских горных склонах невелико. На участке, расположенном на северном крутом склоне ( $\alpha = 23^\circ$ ) с хорошо развитыми горно-лесными увлажненными почвами, смещение ореола рассеяния свинца составило 28 м (рис. 16). В районах Восточного Забайкалья смещение ореолов рассеяния относительно коренного залегания рудных тел довольно значительно. Для степных склонов этого района величина смещения ореолов растет от плоских водоразделов к подножию. По данным Р.И. Жуковой [5], в приводораздельной части склона распространены мало смещенные или практически не смещенные ореолы. В центральной плоской части смещение увеличивается до 40–50 м; в нижней — достигает 80–

100 м. Вместе с тем, по данным В.Т. Кардаш и В.К. Маслова, на полиметаллическом месторождении Таборное при мощности элювио-делювия 1,5–2 м и значительной крутизне склонов ( $\alpha$  до  $35^\circ$ ) смещения максимумов содержаний свинца не наблюдается. Это объясняется „парадоксом крутых склонов“ — отсутствием значительных смещений ореолов рассеяния на крутых активно денудированных склонах по сравнению с более пологими, где эти смещения значительно больше [37].

Зависимость  $S_\alpha$  от условий конкретных ландшафтов устанавливается с помощью параметра  $A$ . Для горных районов Казахстана средняя величина  $A$  оценивается в  $10 \text{ м}^{-1}$ ; в условиях Восточной Сибири и Забайкалья  $A > 100 \text{ м}^{-1}$  [39]. Такое различие значений  $A$  объясняется процессами, приводящими к самопроизвольному движению рыхлых образований на склоне.

В горных районах Казахстана ведущий склоновый процесс — дефлюкция [4], проявляющаяся в медленном сползании склоновых образований, в частности, в результате попеременного увеличения и уменьшения объема при изменении температуры и влажности, замерзания и оттаивания. Можно приближенно оценить скорость ( $v$ , мм/год) смещения рыхлого материала на склоне, исходя из выражения  $v = S_\alpha \Delta h/h$ . На северных увлажненных склонах эта величина составляет в среднем  $0,75 \pm \pm 0,09$  мм/год, на южных сухих склонах —  $0,26 \pm 0,10$ , а на пологих водораздельных —  $0,13 \pm 0,01$  мм/год. В зонах влажного умеренного климата максимальная скорость движения рыхлых масс, по данным А. Джеррарда, отмечается на глубинах от 5 до 20 см.

В условиях развития многолетней мерзлоты ведущим склоновым процессом является солифлюкция [4], под которой понимают процесс активного течения деятельного слоя почв, богатого коллоидными частицами и перенасыщенного водой, по поверхности водонепроницаемого мерзлотного субстрата. Наиболее ярко эти процессы проявлены в пределах нижних частей относительно пологих склонов. Смещение остаточных ореолов до 130–150 м на очень пологих склонах Чукотки отмечал А.П. Соловов. Большие криогенные смещения рыхлых образований на склонах крутизной  $5\text{--}7^\circ$  в условиях Витимского плоскогорья наблюдал Т.Т. Тайсаев [5]. О смещении порядка 200 м при отчетливо проявленных процессах солифлюкции в Северо-Западной Якутии писал В.М. Питулько [28].

Помимо дефлюкции и солифлюкции в поясе горных хребтов может происходить движение практически сухого обломочного материала в результате изменения объема при колебании температур, получившего название десерпции [4]. Область проявления десерпции ограничена верхними частями склонов, где чаще встречаются открытые сухие, слабозадернованные пространства и наблюдаются резкие изменения ночных и дневных температур. Из других склоновых процессов необходимо упомянуть обвальные, осыпные, а также суффозию, имеющие

ограниченного распространение. В природе ни один процесс не встречается в чистом виде; их комбинирование зависит от геоморфологических и ландшафтных условий.

Процессы массового движения выветрелого материала могут приводить к частичному переходу ореолов рассеяния в погребенное состояние в нижних частях склонов. Интервал закрытых ореолов рассеяния В.В. Поликарпочкин оценивает в 40–50 м от подножия залесенного склона [29]. При малых смещениях ореолов ( $S_d < 50$  м), характерных для многих горных районов, и умеренной ширине долины относительная закрытость заведомо мала и не влияет на эффективность литохимических поисков. В ландшафтах горно-таежной зоны, в частности на склонах северной экспозиции, смещения ореолов иногда достигают  $S_d = 200$ –300 м и при широких речных долинах относительная „закрытость” района может приближаться к 50 %. Однако переход остаточного ореола рассеяния в частично погребенное состояние не исключает эффективно проведения литохимических съемок в горно-таежных мерзлотных районах.

На вогнутых склонах в самых различных ландшафтных условиях ореолы рассеяния приобретают в плане шлейфообразную форму. Особенно эффектны шлейфообразные ореолы полиметаллических месторождений жильного типа Восточного Забайкалья. Вогнутый характер склона хорошо виден на рис. 17, где наблюдается возрастание расстояний между горизонталями в сторону долины. Протяженность шлейфа ореола рассеяния Северо-Акатуевского месторождения составляет порядка 1000 м.

Развитие шлейфообразных ореолов рассеяния в условиях аридного климата Казахстана иллюстрируется на примере юго-западного фланга рудного поля месторождения Беркара в Центральном Казахстане (рис. 18). Относительно богатые вторичные ореолы рассеяния Pb приурочены к постоянному литолого-стратиграфическому горизонту фаменских известняков. Широкая область аномальных содержаний свинца, развитая гипсометрически ниже, относится к шлейфу основного ореола, обязанному своим происхождением сносу и отложению рыхлых продуктов у подножия склона. Это необходимо учитывать при подсчете суммарной продуктивности ореолов рассеяния, исключая из подсчета шлейф ореола (см. гл. 4).

3. Независимо от рассмотренных процессов, формирование вторичных остаточных ореолов рассеяния протекает в результате взаимной („диффузионной”) подвижности рудных частиц в зоне гипергенеза. В процессе выветривания частицы горных пород и руд испытывают взаимные беспорядочные („броуновские”) перемещения, вследствие чего рудные частицы выходят за пределы коренного залегания в рудном теле. Литохимический диффузионный ореол рассеяния в поперечном сечении имеет веерообразную форму, расширяющуюся к поверхности. Содержа-

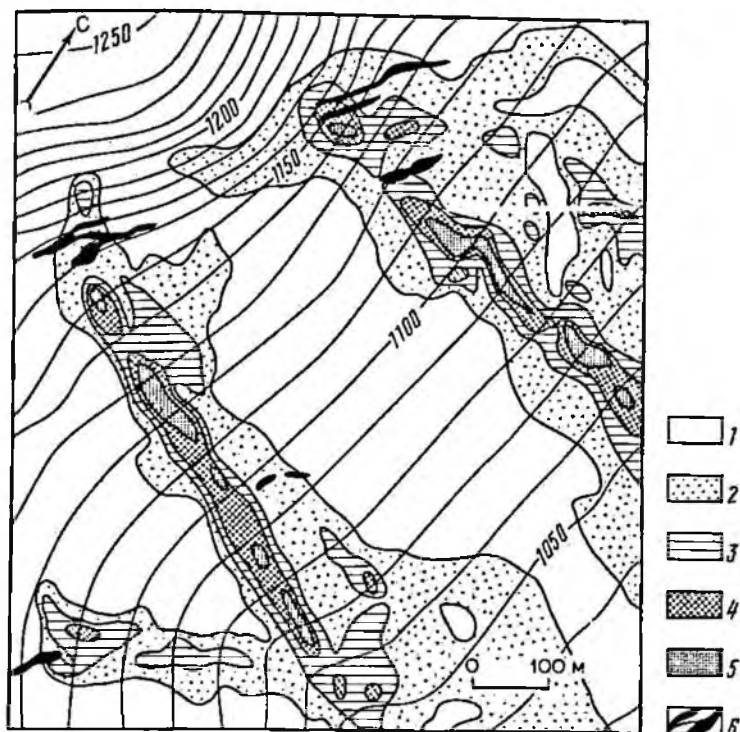


Рис. 17. Вторичные ореолы рассеяния свинца на вогнутом склоне Северо-Актыубинского месторождения. По А.Е. Савадской и В.А. Напарта.

Содержания свинца в ореоле (в %): 1 —  $< 0,003$ ; 2 —  $0,003-0,01$ ; 3 —  $0,01-0,03$ ; 4 —  $0,03-0,1$ ; 5 —  $> 0,1$ ; 6 — рудные тела

ния рудных элементов в нем уменьшаются как в направлении к дневной поверхности, так и в стороны от рудного тела, однако количество металла в идеальном случае остается постоянным.

Примером тому служат разрезы остаточных ореолов рассеяния двух полиметаллических рудопроявлений Джунгарского Апатая (рис. 19, 20). Рудопроявление Актыубе залегает в окварцованных известняках среднего рифея. Рудные минералы представлены галенитом, сфалеритом, пиритом. В зоне окисления отмечаются охристые массы и натeki лимонита, а также церуссита, образующего „рубашку“ на зернах неокисленного галенита. Бедное оруденение участка Яблоновое приурочено к пачке углисто-глинистых сланцев и представлено маломощной зоной, сложенной густоокрапленным пиритом с отдельными прожилками сфалерита.

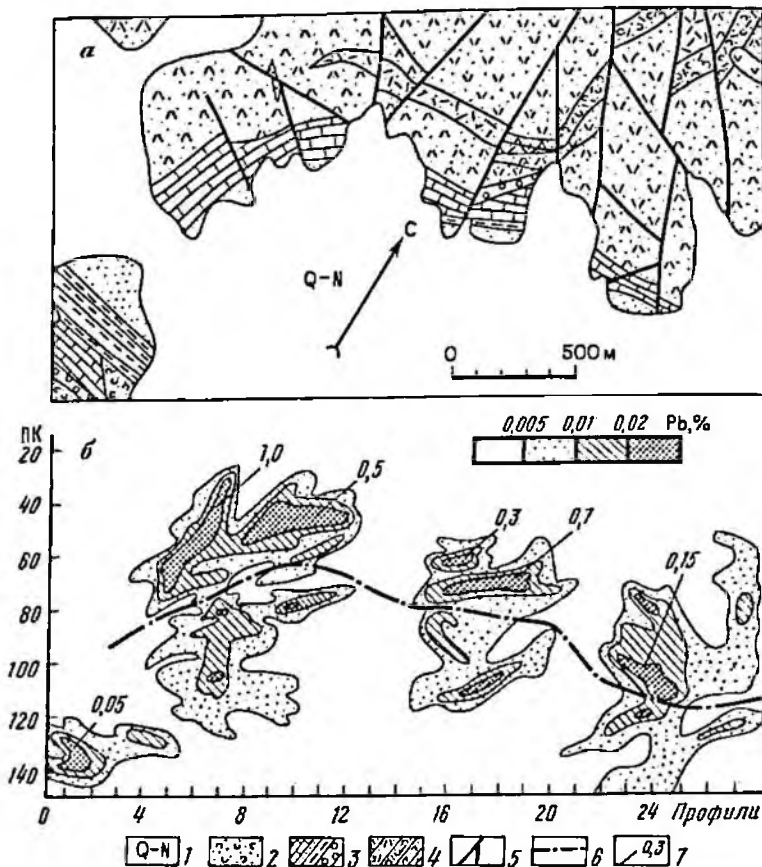


Рис. 18. Геологическая схема (а) и вторичные ореолы рассеяния свинца (б) юго-западного фланга месторождения Беркара. По Н.Д. Склярву и А.П. Соловову.  
 1 — песчано-глинистые отложения неоген-четвертичного возраста; 2 — туфопесчаники каркаралинской свиты  $S_1v-n$ ; 3 — известняки, песчаники, алевролиты, гравелиты фаменского яруса  $D_3fm$ ; 4 — туфы, туфолавы, игнимбриты децитовых порфиров, туфы липаритовых порфиров франского яруса  $D_3fr$ ; 5 — тектонические нарушения; 6 — северная граница шлейфа ореола; 7 — максимальные содержания свинца, в %

рита и галенита. Рыхлые образования этой зоны интенсивно обожжены и лимонитизированы. Оба участка характеризуются среднегорным рельефом с лугово-степными (Актюбе) и степными (Яблоновое) ландшафтами. Вторичные ореолы рассеяния развиваются в пределах приводораз-

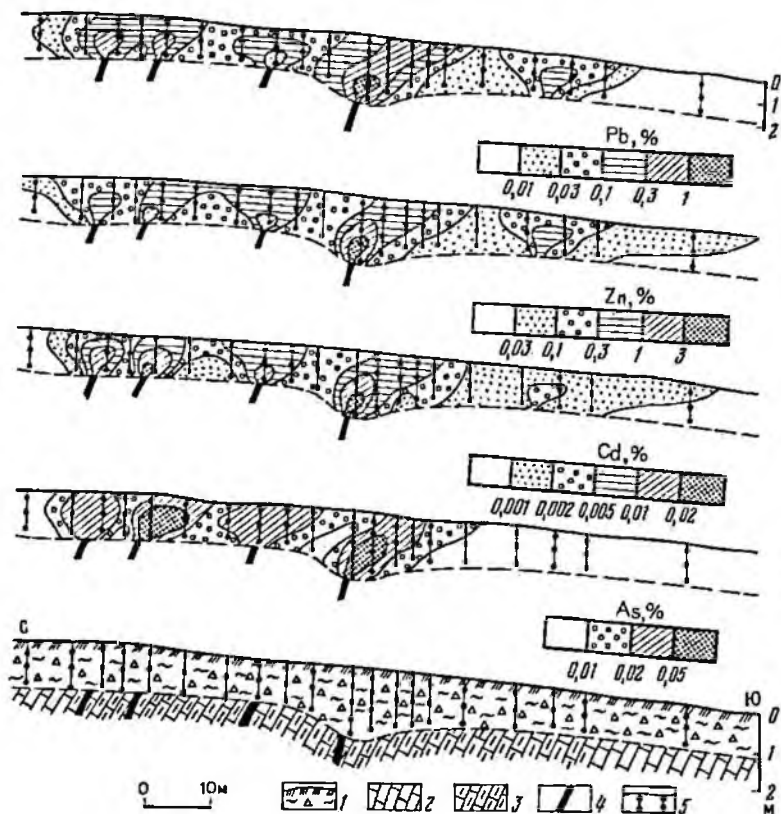


Рис. 19. Вертикальные сечения ореолов рассеяния рудных элементов на месторождении Актюбе:

1 — элювио-делювий; 2 — известняки мраморизованные; 3 — океарцованные известняки; 4 — рудные жилы; 5 — точки опробования

дельного пологого южного склона (Актюбе) и на водоразделе южного и северного склонов (Яблонное). Мощность суглинисто-щебенистых элювио-делювиальных образований на этих участках 1,2–2,5 м. В обоих случаях наблюдается незначительное смещение ореолов рассеяния вниз по склону, составляющее 7 м на участке Актюбе и 9 м — на Яблонном. Общая черта всех ореолов рассеяния — их симметричное строение относительно наиболее богатой центральной оси, отвечающей положению рудного тела до начала процессов выветривания. Распределение содержаний рудных элементов в горизонтальных и вертикальных сечениях соответ-

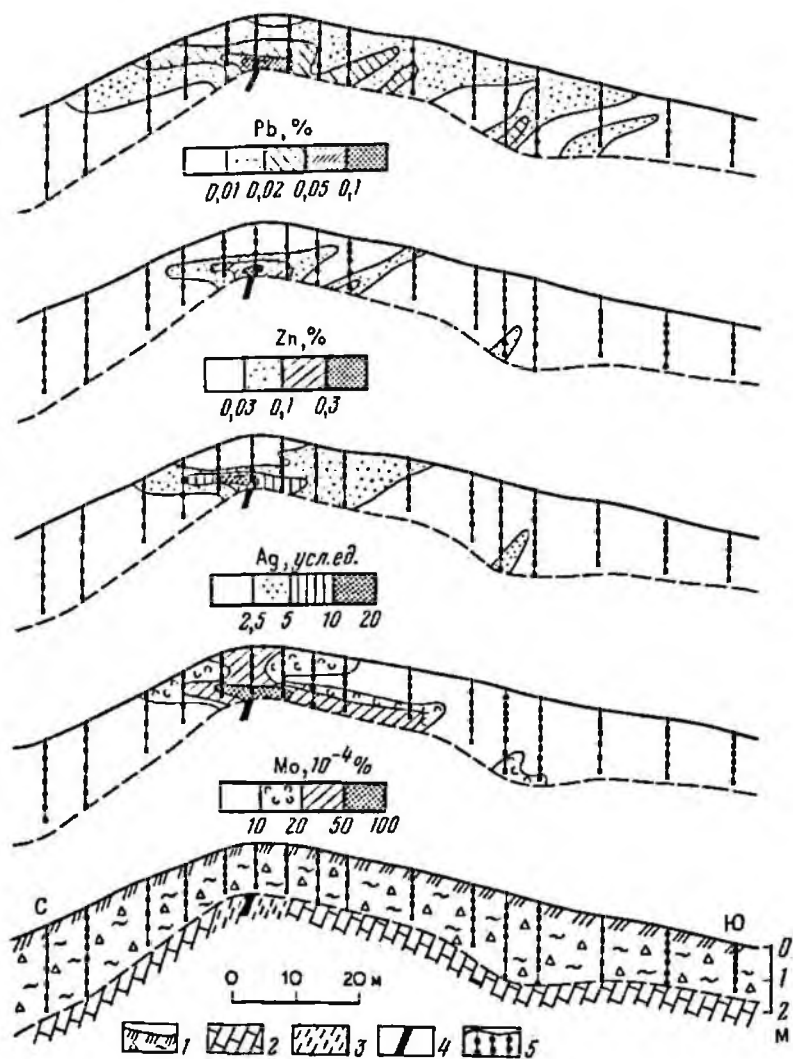


Рис. 20. Разрезы вторичных ореолов рассеяния на участке Яблоновое:

1 — элювио-делювий; 2 — известняки доломитизированные; 3 — углисто-глинистые сланцы; 4 — рудное тело; 5 — точки опробования

ствуется теоретическим законам формирования ореолов рассеяния путем диффузии частиц.

Теория диффузионных механических ореолов рассеяния развита А.П. Солововым [37]. Им предложены формулы, описывающие распределение содержаний металлов в горизонтальном сечении по мере удаления от рудного тела и в вертикальном разрезе. Для тонкого вертикального рудного тела при горизонтальной дневной поверхности распределение содержаний элемента ( $C_x$ , %) в остаточном литохимическом ореоле рассеяния подчиняется выражению

$$C_x = \frac{M}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} + C_{\phi},$$

где  $M$  — количество металла, м %;  $\sigma$  — коэффициент гипергенного рассеяния, м;  $x$  — расстояние по профилю от центра ореола, м;  $C_{\phi}$  — фоновые содержания, %.

Для рудных тел относительно большой мощности математическое решение задачи формирования литохимических ореолов рассеяния осуществлено Р.И. Дубовым [18].

Величины коэффициентов гипергенного рассеяния  $\sigma$  определяют подвижность рудных компонентов в зоне гипергенеза. Величина коэффициента  $\sigma$  зависит от многих причин, в частности от соотношения солевых и механических форм нахождения химических элементов. В общем случае коэффициент гипергенного рассеяния имеет максимальную величину на поверхности элювио-делювия, постепенно уменьшаясь до нуля в интервале  $z$  от 0 до  $h$ . В этом направлении происходит закономерное уменьшение времени рассеяния  $T_z$  и „силы“ действия внешних агентов выветривания  $F_z$  при одновременном увеличении вязкости среды  $\mu$ . С учетом перечисленных факторов коэффициент гипергенного рассеяния подчиняется выражению

$$\sigma = \eta\sqrt{FT/\mu},$$

где  $\eta$  — показатель, характеризующий химические свойства элементов и их минералов [37].

Одновременную зависимость величины  $\sigma$  от индивидуальных свойств рудных элементов и от ландшафтно-геологических условий участка иллюстрируют данные табл. 4. Величины коэффициентов рассеяния рудных элементов обычно составляют не более нескольких метров, иногда достигают 10–15 м и редко превышают 25–30 м [23]. Значения  $\sigma$  для свинца во вторичных ореолах хр. Каратау достигали наибольшей величины 32 м (горный рельеф, сухие степи).

Большие различия в коэффициентах рассеяния  $\sigma$  обнаруживаются для разных районов и ландшафтов. В пределах одного участка различия между оценками коэффициентов гипергенного рассеяния часто статистически незначимы. Оба признака подтверждают преобладание в остаточных литохимических ореолах процессов механического рассеяния и под-



Таблица 4  
Значения коэффициентов гипергенного рассеяния ( $\sigma$ ) рудных элементов

№ п/п	Геохимические ландшафты	Рудовмещающие породы	Свинец		Цинк		Медь	
			n	$\sigma \pm s/\sqrt{n}$	n	$\sigma \pm s/\sqrt{n}$	n	$\sigma \pm s/\sqrt{n}$
1	Горно-луговые высокогорных плоских водоразделов гумидной зоны	Гранодиориты	3	3,18±0,21	3	2,57±0,24	3	2,57±0,24
2	Горно-луговые сравнительно пологих склонов семиаридной зоны	Эффузивно-осадочные	25	5,03±0,36	13	4,55±0,35	12	3,85±0,32
3	Горно-тундровые низкогорных пологих склонов семигумидной зоны	То же	21	8,60±0,81	21	9,70±0,86	21	6,80±0,37
4	Горно-таежные, горно-тундровые с многолетней мерзлотой семигумидной зоны	"	34	17,1±0,21	21	15,5±0,44	7	15,1±0,20
5	Горно-лесные семигумидной зоны с участками сернокислого выщелачивания	"	13	13,6±0,72	-	-	11	16,8±0,83
6	Лесостепные крутых склонов семиаридной зоны	"	26	9,67±0,64	15	9,13±0,93	15	8,03±0,46
7	Степные, лугово-степные обнаженных склонов семиаридной зоны	Известняки	16	8,99±1,12	12	7,93±0,94	-	-
8	Сухостепной низкогорный слабовсхолмленный мелко-солончак аридной зоны	Эффузивно-осадочные	5	7,44±0,62	4	9,21±0,63	75	11,0±0,12

Данные: 1-2 — Б.А. Досановой по Заилийскому Алатау; 3 — Т.В. Челкасовой А.А. Матвеева и Ю.Н. Николаева по Северо-Востоку СССР; 5-6 — по Рудному Ал. А.П. Соловова и А.А. Матвеева по Центральному Казахстану. В их числе 1-3 и 5-7

чиненную роль солевой фазы, за счет которой в данном ландшафте могли бы более ярко проявиться различия в индивидуальных химических свойствах рудных элементов.

Из табл. 4 видно, что в горно-луговых ландшафтах гипергенная подвижность различных рудных элементов изменяется мало: от 2,57 до 3,18 м (Кырджол) и от 3,79 до 5,09 м (Чонбулак). Различия оценок местных значений коэффициентов  $\sigma$  по F- и t-критериям незначимы.

Серебро		Мышьяк		Молибден	
n	$\sigma \pm s/\sqrt{n}$	n	$\sigma \pm s/\sqrt{n}$	n	$\sigma \pm s/\sqrt{n}$
1	2,80	1	2,70	—	—
20	$5,09 \pm \pm 0,36$	3	$3,86 \pm \pm 1,12$	9	$3,84 \pm \pm 0,51$
21	$8,70 \pm \pm 0,67$	—	—	12	$5,30 \pm \pm 0,22$
59	$12,4 \pm \pm 0,17$	42	$11,4 \pm \pm 0,19$	—	—
8	$10,1 \pm \pm 1,13$	4	$8,10 \pm \pm 1,21$	8	$9,83 \pm \pm 0,84$
16	$9,04 \pm \pm 0,48$	16	$9,33 \pm \pm 0,51$	14	$8,51 \pm \pm 0,36$
15	$6,34 \pm \pm 0,67$	6	$9,80 \pm \pm 2,40$	5	$13,0 \pm \pm 1,11$
4	$8,66 \pm \pm 0,65$	4	$7,39 \pm \pm 0,63$	33	$11,7 \pm \pm 0,29$

по горным районам Полярного Урала; 4 —  
таю; 7 — по Джунгарскому Алтаю; 8 —  
по полиметаллическим объектам.

Вместе с тем небольшой коэффициент  $\sigma$  для бария (3,5 м) и большой для меди (16,8 м) в горно-лесных семигумидных ландшафтах могут быть объяснены различной формой нахождения этих элементов во вторичных ореолах рассеяния; для меди большее значение имеет солевая форма нахождения, для бария резко преобладает механическое рассеяние. Наряду с этим обнаруживаются достаточно устойчивые ряды гипергенной подвижности элементов, очевидно характеризующие различия их форм нахождения в ореолах рассеяния. По данным А.А. Матвеева, ряд гипергенной подвижности элементов для степных ландшафтов Казахстана определяется соотношением:  $\sigma_{Zn} > \sigma_{Pb, Mn} > \sigma_{Cu, Mo} > \sigma_{Ag} > \sigma_{As}$  для горно-лесных семигумидных ландшафтов Рудного Алтая, по нашим данным:  $\sigma_{Zn} > \sigma_{Cu} > \sigma_{As} > \sigma_{Pb} > \sigma_{Ag} > \sigma_{Hg} > \sigma_{Bi} > \sigma_{Mo} > \sigma_{Ba}$ .

В условиях многолетней мерзлоты коэффициенты гипергенного рассеяния имеют тот же порядок значений, что и для ландшафтов Казахстана. Для автономных ланд-

шафтов Северо-Западной Якутии и Северо-Востока СССР, по данным В.М. Питулько, коэффициенты гипергенного рассеяния рудных элементов изменяются от 3 до 14 м, в среднем 6—8 м. Отмечаются значимые различия  $\sigma$  в зависимости от состава вмещающих толщ. Как правило, коэффициенты гипергенного рассеяния меньше в карбонатных породах, по сравнению с алюмосиликатными [28]. Близкие оценки коэффициентов  $\sigma$  получены Е.М. Квятковским [21] и В.В. Поликарпочкиным [29]

для условий Восточного Забайкалья. Показано, что в мелких фракциях элювио-делювия рассеяние рудных элементов происходит интенсивнее, чем в более крупных. В пределах Газимуро-Воскресенского полиметаллического месторождения значения коэффициентов рассеяния для Pb, Zn, Ag, As для фракции 0,25 мм в 1,2–1,8 раза выше, чем для фракции 1–5 мм [29].

В целом сведений о численных значениях коэффициентов гипергенного рассеяния даже для основных рудных элементов и главнейших типов ландшафтов совершенно недостаточно, что затрудняет анализ причин, определяющих их величину и ряды подвижности элементов. Объясняется это возможностью определения  $\sigma$  только по графикам и картам реальных ореолов рассеяния, распределение элементов в которых близко к теоретической зависимости для тел простой формы. Последнее, с учетом сложности природных геологических объектов, встречается не столь часто.

Количественная интерпретация вторичных литохимических ореолов рассеяния и оценка рудопроявлений по геохимическим данным невозможны без учета коэффициентов остаточной продуктивности  $k$ , характеризующих пропорциональную зависимость между количеством металла во вторичном ореоле рассеяния ( $M, P, q$ ) и в коренном оруденении ( $M_p, P_p, q_p$ ) [37]. В зависимости от местных ландшафтно-геохимических условий и физико-химических свойств рудных минералов  $k$  может принимать различные значения, указывая тем самым на преобладание процессов выщелачивания ( $k < 1,0$ ) или аккумуляции ( $k > 1,0$ ) рудного элемента в зоне гипергенеза. В первом случае образуются ослабленные ореолы рассеяния, во втором — обогащенные.

Коэффициент остаточной продуктивности обычно определяется как отношением линейных продуктивностей вторичного ореола рассеяния и коренного оруденения:  $k = M/M_p$  [39]. Традиционно подсчет  $M_p$  проводится по данным бороздowego опробования канав, пройденных вкрест простирания рудных зон, подсчет  $M$  — по результатам литохимического опробования элювио-делювия с шагом 5–10 м по профилю вдоль канавы. Местные значения  $k$  для рудного элемента определяются величиной

среднего геометрического из серии наблюдений  $k = \text{antlg} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg k_i \right)$

с указанием доверительных пределов  $k = k\epsilon^{\pm 1}$ . Поэтому необходимым условием для определения надежных значений  $k$  является проходка на рудном участке минимум 3–5 канав, а в случае неравномерного коренного оруденения и меняющихся ландшафтных условий — более 10–12. Между тем переход к горным работам целесообразен только на стадии детальных литохимических съемок масштаба 1:10 000 и крупнее, что ведет к задержкам определения  $k$  и к снижению геологической эффективности поисковых литохимических съемок.

Систематические определения численных значений местных коэффи-

циентов  $k$ , в том числе и на полиметаллических объектах, проводили Е.М. Квятковский, И.Н. Крицук для территории Восточного Забайкалья и Дальнего Востока [21], В.М. Питулько для Северо-Западной Якутии [28], А.А. Матвеев, Ю.Н. Николаев, В.П. Бородин, А.Д. Ананченко и другие для Северо-Востока СССР, В.И. Морозов для Средней Азии [15], Т.В. Чепкасова для Полярного Урала, В.И. Сафронов для Приморья, Н.Н. Трофимов, А.И. Рычков для Северного Кавказа [46]. Наиболее полные данные получены Б.А. Досановой и А.П. Соловьевым для полиметаллических месторождений Казахстана [23].

Все имеющиеся сведения о коэффициентах остаточной продуктивности относятся к ореолам рассеяния, развитым в современном элювио-делювии рудомещающих пород. Они неприменимы к оценке вторичных наложенных ореолов рассеяния или таких, которые обнаруживают признаки пролювиального, аллювиального или эолового разубоживания или погребения.

На основе этих данных и общетеоретических представлений сформулированы главные положения априорной оценки местных значений коэффициента  $k$  в зависимости от ландшафтно-геохимических условий формирования вторичных ореолов рассеяния и индивидуальных свойств рудных элементов [37]: 1) в условиях расчлененного рельефа и активной современной денудации в любых ландшафтно-геохимических зонах для большинства рудных элементов средние величины  $k \approx 1,0$ ; 2) в условиях гумидного климата и замедленной денудации для элементов активных водных мигрантов (F, U, Mo, Sr и др.) характерны  $k < 1,0$ . В тех же условиях для рудных элементов, представленных устойчивыми в зоне гипергенеза тяжелыми минералами (Sn, W, Au, Nb, Zr и др.), можно ожидать  $k > 1,0$ ; 3) в условиях аридного климата для элементов, способных к испарительной аккумуляции (Mo, U, Sr, F), возможны значения  $k > 1,0$ ; 4) в профиле элювио-делювия величины  $k$  изменяются с глубиной, приближаясь к значению  $k = 1,0$ .

Эти предварительные оценки возможных величин  $k$  подтверждаются исследованиями его зависимости от ландшафтно-геохимических условий, проведенными в различных районах (табл. 5). Для горных активно денудированных районов с маломощным покровом щебенистых элювио-делювиальных образований коэффициенты остаточной продуктивности для свинца и цинка сопоставимы и характеризуются средними значениями, обычно лежащими в интервале от 0,5 до 2,0. В горных районах гумидной зоны, особенно для выровненных областей, для тех же рудных элементов  $k$  обычно  $< 1,0$  (соответственно 0,1—0,49). Зафиксированные минимальные значения  $k_{Pb}$ , равные 0,07, характерны для горно-луговых высокогорных плоских водоразделов гумидной зоны Заилийского Алатау. Максимальные величины  $k_{Pb} > 3,0$  определены для участков, сложенных известняками, в горно-степных аридных ландшафтах Каратау.

В ландшафтных условиях Северо-Востока СССР значения коэффи-

Таблица 5  
Коэффициенты остаточной продуктивности для свинца и цинка

Геохимические ландшафты	Рудомещающие породы	Свинец			Цинк			Район
		n	k	ε	n	k	ε	
Горно-луговые высокогорных плоских водоразделов гумидной зоны	Гранодиорит	12	0,07	1,41	6	0,32	1,68	Завликий Алау [23]
Горно-лесные семигумидной зоны с участками сернокислого выщелачивания	Эффузивно-осадочные	8	0,68	1,47	4	0,25	1,12	Рудный Алтай
Горно-тундровые низкогорных пологих склонов семигумидной зоны	То же	16	0,49	1,13	13	0,63	1,27	Полярный Урал*
Горно-тундровые среднегорных крутых склонов семигумидной зоны	Карбонатно-терригенные	12	1,08	1,25	17	1,04	1,16	То же
Лесо-луговые крутых склонов южной экспозиции семигумидной зоны	Известняки	11	0,85	1,22	11	0,82	1,17	Джунгарский Алау
Лугово-степные выровненных водоразделов семигумидной зоны	То же	6	1,44	1,25	—	—	—	Угамский хребет [23]
Степные, приводораздельные пологие склоны семиаридной зоны	Сланцы, паченики	70	0,56	1,14	—	—	—	Восточное Забайкалье [21]
Лесостепные крутых склонов семиаридной зоны	Эффузивно-осадочные	6	0,85	1,31	6	0,54	1,42	Рудный Алтай
Степные горных склонов южной экспозиции семиаридной зоны	Известняки, сланцы	6	1,41	1,07	5	0,79	1,37	Джунгарский Алау
Сумив степи, мелкосопочник аридной зоны	Метаморфические сланцы	107	0,71	1,15	—	—	—	Центральный Казахстан [23]

\* По данным Т.В. Чепкасовой.

циента остаточной продуктивности для свинца мало отличаются от единицы. В то же время вторичные ореолы рассеяния цинка характеризуются значительным ослаблением. По данным А.П. Соловова, его величина в среднем составляет 0,46; по данным В.М. Питулько — 0,3.

На сульфидных месторождениях с хорошо развитой зоной окисления величины коэффициентов остаточной продуктивности для свинца и цинка характеризуются значениями  $k < 1,0$ , причем вынос цинка при сернокислым выщелачивании превышает вынос свинца, что отражено в соотношении величин коэффициентов  $k_{Zn} < k_{Pb} < 1,0$ . В обстановке замедленной денудации на выровненных водоразделах гумидных и семи-гумидных зон с хорошо развитым растительным покровом отмечается зависимость  $k_{Pb} < k_{Zn}$ , которая объясняется условиями биогенной миграции этих металлов.

Цинк, благодаря активному биогенному поглощению ( $A_x > 1,0$ ), способен к существенному накоплению в почве, а свинец, характеризующийся очень малым коэффициентом биологического захвата ( $A_x \ll 1,0$ ), выносится в форме комплексных органометаллических соединений при воздействии гуминовой, уксусной и различных фульвокислот, образующихся в гумидной зоне при разложении отмершей растительности [23].

Характерной особенностью поведения цинка в зоне гипергенеза является его способность к накоплению в торфяно-почвенных горизонтах рыхлых отложений, иногда приводящая к образованию высоких концентраций. В болотных образованиях горно-тундровой части Юкона (Канада) недавно обнаружена вторичная цинковая минерализация, представленная каламином, смитсонитом и вюртцитом. Залежи мощностью 1 м с содержанием цинка до 30 % и запасами в отдельных залежах до 80 тыс. т связаны с выщелачиванием бедных первичных руд и концентрацией цинка на геохимических барьерах в торфяниках.

Зависимость величин коэффициентов остаточной продуктивности для свинца и цинка от местных ландшафтно-геохимических условий была детально исследована Маунг-Ко-Ко в рудном поле полиметаллического месторождения Чонбулак в Заилийском Алатау. Оруденение локализуется в палеоандезитах и конгломератах карбона и контролируется сложной системой тектонических нарушений. Руды принадлежат к прожилково-вкрапленному типу и представлены галенитом, сфалеритом, пиритом. Рассмотрение данных табл. 6 позволяет обнаружить закономерное убывание значений  $k$  по мере возрастания мощности элювио-делювия от 0,5 до 2,0 м, увеличения плотности растительного покрова и возрастания роли почвообразовательных процессов. Этот признак обнаруживается как для элювиальных ландшафтов пологих водоразделов, где отмечается убывание  $k_{Pb}$  от 0,49 до 0,12, так и для трансэлювиальных ландшафтов горных склонов, где тот же показатель уменьшается от 0,48 до 0,19. Заметим, что величины  $k_{Zn}$  в тех же границах превышают приве-

Таблица 6

Значения  $k$  для Pb и Zn в ландшафтно-геохимических условиях рудного поля Чонбулак (по Маунг-Ко-Ко)

Типы элементарных ландшафтов	Число определений $n$	Свинец		Цинк	
		$k$	€	$k$	€
Элювиальные пологих водоразделов с щебнистыми почвами, частыми выходами коренных пород, скудной травянистой растительностью	3	0,49	1,40	0,61	1,25
То же, с обильной травянистой растительностью и мощными темно-каштановыми почвами хорошо развитого профиля	3	0,12	1,25	0,16	1,43
Трансэлювиальные склонов южной экспозиции с грубоскелетными почвами и выходами коренных пород	7	0,48	1,90	0,60	1,26
То же, склонов северной экспозиции с горно-луговыми черноземовидными почвами, с очень обильной травянистой растительностью	3	0,19	1,14	0,26	1,42

денные значения  $k_{Pb}$ , характеризуют условия их биогенной миграции. В целом полученные значения  $k$  хорошо увязываются с различной скоростью денудации, ролью солевой и биогенной миграции рудных элементов в ореолах для элювиальных и трансэлювиальных элементарных ландшафтов участка Чонбулак.

Анализ данных о местных значениях коэффициентов остаточной продуктивности для горных районов Казахстана позволяет назвать пять основных ландшафтно-геохимических факторов, влияющих на интенсивность гипергенного выщелачивания части металла из вторичного ореола рассеяния или его аккумуляцию: 1) абсолютная высота местности ( $H$ , тью. м) определяет среднегодовое количество выпадающих атмосферных осадков, температурный режим и зональность геохимических ландшафтов; 2) угол склона ( $\alpha$ , градус) отражает скорость современной денудации склонов и мощность элювио-делювиальных образований; 3) экспозиция склона ( $\beta$ , градус) характеризует повышенную увлажненность склонов северной и восточной экспозиции по сравнению с южной и западной и определяет тип почвенно-растительного покрова; 4) показатель кислотности-щелочности почв (рН) влияет на растворимость и форму миграции рудных компонентов в зоне гипергенеза; 5) состав рудовмещающих пород ( $N$ ) определяет преобладающую форму нахождения рудных элементов в рыхлых образованиях.

Полевые определения абсолютной высоты местности по топокарте, измерения угла склона с помощью эклиметра и экспозиции склона с помощью горного компаса не требуют пояснений. Оценка местных зна-

чений рН возможна с применением полевого рН-метра со стеклянным электродом (ППМ-03), с помощью индикаторной бумаги при достаточной влажности почв или на глаз согласно следующим несложным правилам: горно-луговые и горно-лесные ландшафты, развитые на пологих склонах и водоразделах, характеризуются рН, равным 5,5—6,5; горно-степенные ландшафты на крутых склонах семиаридной зоны, а также горно-луговые и горно-лесные, развитые на карбонатных породах, характеризуются рН, равным 6,5—7,5; маломощные щебенистые элювио-делювиальные образования в зоне сухих степей с грубоскелетными слабо развитыми почвами характеризуются рН, равным 7,0—8,0.

Определение петрографического показателя обычно затруднений не вызывает и проводится по геологическим картам ближайшего масштаба или в процессе геологического осмотра выявленных вторичных ореолов рассеяния, по коренным выходам или обломочному материалу на склонах. Из общих соображений можно предвидеть, что значения  $k$  будут зависеть от состава рудовмещающих пород, за счет которых происходит формирование элювио-делювия, заключающего в себе остаточные ореолы рассеяния. Эти различия особенно велики, например, при выветривании кислых магматических пород и осадочных карбонатного состава. Существенных различий в составе выветрелых пород при условии, что рудовмещающие толщи достаточно близки по химическому составу, как правило, не наблюдается. Выветривание таких различных пород, как граниты, полимиктовые песчаники, разнообразие эффузивы и их туфы, в конечном счете приводит к образованию группы однотипных минералов глини (монтмориллонит, галлуазит), гидрослюд с остаточным кварцем, полевыми шпатами и полуторными оксидами. Целесообразно выделить пять групп рудовмещающих пород, ранжированных по степени увеличения в них кальциево-кремниевого отношения: I — интрузивные породы кислого и среднего состава, кислые эффузивы, их туфы; II — интрузивные породы основного и ультраосновного состава, эффузивы основного состава, их туфы; III — эффузивно-осадочные породы; IV — осадочные породы песчано-глинистого и мергелистого состава; V — карбонатные породы.

Зависимость коэффициента остаточной продуктивности от выбранных ландшафтно-геохимических характеристик подтверждается наличием корреляционных связей между  $k_{р\text{в}}$  и каждым из пяти перечисленных факторов со значениями коэффициентов корреляции в пределах 0,58—0,89 при  $r_{5\%} = 0,44$  (рис. 21). Корреляционные зависимости между коэффициентами  $k$  для цинка и ландшафтными условиями развития ореолов рассеяния значительно ослаблены; положительные значимые коэффициенты корреляции определены только между  $k_{Zn}$  и факторами „в” и „г”, для которых они составляют соответственно 0,53 и 0,56 при  $r_{5\%} = 0,47$ . Вместе с тем наблюдается достаточно сильная положительная корреляция между коэффициентами  $k$  для свинца и цинка ( $r = 0,68$  при



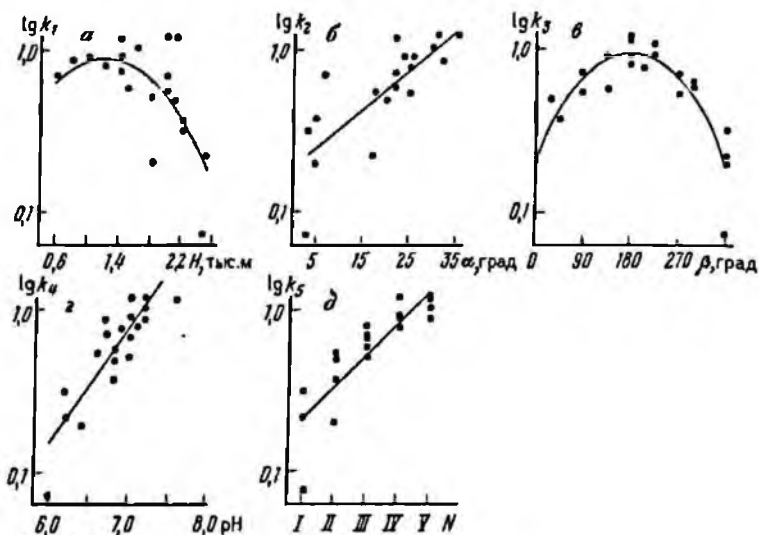


Рис. 21. Графики зависимости величины  $k$  для свинца от ландшафтно-геохимических факторов при выборке  $n = 20$  и  $r_s \% = 0,44$ :

$a - \lg k_1 = -0,439H^2 + 1,09H - 0,711$ ,  $r_{kH} = -0,58$ ;  $б - \lg k_2 = 0,0235\alpha - 0,716$ ,  $r_{kH} = 0,77$ ;  $в - \lg k_3 = -2,09 \cdot 10^{-5}\beta^2 + 7,52 \cdot 10^{-3}\beta - 0,658$ ;  $г - \lg k_4 = 0,696 \text{ рН} - 5,0$ ,  $r_{k\text{рН}} = 0,88$ ;  $д - \lg k_5 = 0,195N - 0,856$ ,  $r_{kN} = 0,89$

$r_s \% = 0,41$ ), позволяющая проводить расчеты через регрессию  $k_{Zn}$  на  $k_{Pb}$  по формуле

$$k_{Zn} = \text{antlg} (0,595 \lg k_{Pb} - 0,126). \quad (2)$$

Коэффициент  $k$  по результатам контрольных определений характеризуется величиной  $\epsilon = 1,44^{\pm 1}$ .

Для математического выражения функциональных зависимостей коэффициентов остаточной продуктивности для свинца от ландшафтно-геохимических условий формирования ореолов рассеяния были рассчитаны на ЭВМ уравнения регрессий  $k$  на каждый из факторов по программе, разработанной Н.М. Франковской по алгоритмам, предложенным Р.И. Дубовым [18]. На рис. 21 приводятся графики зависимостей коэффициентов остаточной продуктивности от изученных факторов и полученные уравнения регрессий. Уточнить полученные результаты можно вычислением среднезвешенной величины коэффициента по формуле

$$k = \text{antlg} \left( \frac{\sum_{i=1}^5 r_i \lg k_i}{\sum_{i=1}^5 r_i} \right), \quad (3)$$

где  $\lg k_j$  — логарифм частного определения  $k$ ;  $r_j$  — значения коэффициента парной корреляции между  $k_j$  и каждым фактором. После подстановок в выражение (3) уравнение многомерной регрессии для расчета коэффициента остаточной продуктивности для свинца приобретает вид

$$k_{Pb} = \text{antlg} (-0,0635 H^2 + 0,158 H + 0,00451 \alpha + 4,64 \cdot 10^{-6} \beta^2 + 0,00167 \beta + 0,153 pH + 0,0433 N - 1,67). \quad (4)$$

Сопоставление результатов определения местных значений  $k$  традиционным методом (с проходкой горных выработок) и через ландшафтно-геохимические характеристики по уравнению (4) показало их удовлетворительную сходимость. При значениях среднегеометрического  $k$  величина  $\epsilon$  составила  $1,56^{\pm 1}$ . Повысить точность этих оценок можно путем двух- и трехкратных определений  $k$  на данном участке. Следует отметить, что оценка коэффициента  $k$  в предложенном варианте возможна при условии, что эта зависимость распространяется только на изученные области изменения факторов (например,  $0,6 \leq H \leq 2,5$ ;  $5,0 < pH < 8,0$  и т.д.).

Установленная выше количественная связь между коэффициентами остаточной продуктивности для свинца и цинка дает возможность проводить оценку коэффициента  $k$  для цинка через определяемую по формуле (4) величину  $k_{Pb}$ . При оценке  $k_{Zn}$  по формулам (2) и (4)  $\epsilon$  составляет  $1,78^{\pm 1}$ , что свидетельствует о применимости предложенного метода.

Метод полевого определения коэффициентов остаточной продуктивности ореолов рассеяния позволяет прямо на местности проводить оценку  $k$  до проходки первых горных выработок и получения результатов анализа бороздовых проб. Это дает возможность существенно повысить оперативность оценки выявленных рудопроявлений в цифрах прогнозных ресурсов металлов. Рекомендательные способы расчета коэффициентов  $k$ , по нашему мнению, будут особенно эффективны при площадных прогнозно-металлогенических и ландшафтно-геохимических исследованиях, составлении карт удельных продуктивностей металлов, карт по условиям развития вторичных ореолов рассеяния и обосновании направления дальнейших геолого-геохимических работ в условиях горных районов.

Определения коэффициентов остаточной продуктивности проводились и для других рудных элементов полиметаллического оруденения. Полученные данные приведены в табл. 7 в увязке с общей ландшафтной схемой, отраженной в табл. 4 и 5. Средняя величина коэффициентов остаточной продуктивности по этим данным, как и следовало ожидать, мало отличается от единицы ( $\bar{k}\epsilon^{\pm 1} = 0,83 \cdot 1,06^{\pm 1}$ ), принимая на отдельных участках наименьшее значение ( $\bar{k}\epsilon^{\pm 1} = 0,17 \cdot 1,08^{\pm 1}$ ) для меди и наибольшее ( $\bar{k}\epsilon^{\pm 1} = 2,18 \cdot 1,43^{\pm 1}$ ) — для висмута. В целом отмечается зависимость коэффициентов остаточной продуктивности вторичных ореолов

Таблица 7  
Коэффициенты остаточной продуктивности  $k$

Геохимические ландшафты	Медь			Серебро			Мышьяк		
	$n$	$k$	$\epsilon$	$n$	$k$	$\epsilon$	$n$	$k$	$\epsilon$
Горно-лесные семигумидной зоны с участками сернокислого выщелачивания	4	0,17	1,08	4	0,54	1,14	4	0,43	1,28
Горно-тундровые низкогорных пологих склонов семигумидной зоны	25	0,81	1,18	15	0,41	1,10	—	—	—
Горно-тундровые крутых скальных склонов семигумидной зоны	14	1,00	1,21	8	1,11	1,26	—	—	—
Лесо-степные крутых склонов семиаридной зоны	7	0,75	1,11	6	0,46	1,14	6	0,79	1,12
Степные крутых обнаженных склонов семиаридной зоны (на эффузивно-осадочных породах)	3	0,92	1,19	3	0,93	1,27	3	0,45	1,29
Степные и лугово-степные горных склонов южной экспозиции семиаридной зоны (на известняках)	12	1,25	1,09	12	0,94	1,19	10	0,80	1,21
Сухие степи, слабовсхопмляный мелкосолощник аридной зоны	66	0,84	1,06	3	0,60	1,10	1	0,51	—

\* По данным Т.В. Чепкасовой.

\*\* По данным А.А. Матвеева и А.П. Соловова.

рассеяния от характера элементарных ландшафтов изученных участков.

Для большинства элементов (Co, Cu, Ag, Hg, Cd, Tl), находящихся в растворе в катионной форме, в ландшафтах со слабокислой (кислой) средой характерно некоторое ослабление вторичных ореолов рассеяния ( $k < 1,0$ ), в нейтральных (слабощелочных) условиях возможна незначительная аккумуляция рудных элементов ( $k \geq 1,0$ ), в частности за счет их сорбции гипергенными минералами железа и марганца (лимонитом, псиломеланом, вадом, ярозитом), а также карбонатами свинца и цинка [11]. Поведение Mo, Bi, As, Sb, образующих анионные формы в окислительной среде, определяется их большей подвижностью в щелочной обстановке, чем в кислой. Это особенно наглядно отражают величины  $k$  для молибдена ( $k = 1,20$  при  $pH \leq 5,0$ ;  $k = 0,54$  при  $pH = 7,6$ ). Характерно некоторое ослабление ореолов рассеяния мышьяка и стабильная аккумуляция висмута\*. Элементы с относительно высокими коэффициентами водной миграции в условиях аридного климата могут характеризоваться

\* Величина  $k$  для висмута в сухостенных ландшафтах, по мнению А.П. Соловова и Б.А. Досаковой, требует уточнения.

Молибден			Ртуть			Висмут			Барий			Район
<i>n</i>	<i>k</i>	€	<i>n</i>	<i>k</i>	€	<i>n</i>	<i>k</i>	€	<i>n</i>	<i>k</i>	€	
4	1,20	1,40	4	0,65	1,18	4	1,81	1,29	4	1,66	1,45	Рудный Алтай
23	0,55	1,12	—	—	—	—	—	—	16	0,92	1,07	Полярный Урал*
12	1,07	1,14	—	—	—	—	—	—	7	1,11	1,14	То же
6	0,69	1,18	6	0,82	1,09	2	2,18	1,43	4	0,80	1,09	Рудный Алтай
3	0,61	1,28	3	1,07	1,22	2	1,62	1,33	3	1,88	1,38	То же
5	0,54	1,27	5	0,86	1,62	—	—	—	5	1,43	1,40	Джунгарский Алатау
17	0,73	1,11	—	—	—	3	0,25	1,62	5	1,65	1,22	Центральный Казахстан**

$k > 1,0$  за счет их испарительной аккумуляции вблизи дневной поверхности (Mo, Zn, Sr, а также U, F, иногда Cu).

Накопление или вынос ряда других элементов в ореолах рассеяния порой нельзя объяснить только биоклиматическими особенностями ландшафтов. Обеднение или обогащение вторичного ореола рассеяния может быть связано с процессами растворения и выноса либо самого рудного минерала, либо элементов породообразующих минералов. Именно этим объясняется некоторое обогащение свинцом и барием ореолов рассеяния месторождений, залегающих в карбонатных толщах, о которых говорилось выше.

Для полиметаллических месторождений отпробование канав позволяет получить надежные данные для определения коэффициентов остаточной продуктивности. При оценке по канавам коэффициент  $k$  будет характеризовать пропорциональность между ореолом и коренным оруденением в зоне окисления. По содержанию рудных элементов окисленные руды могут отличаться от первичных. Эти различия наиболее существенны для месторождений, характеризующихся в данных ландшафтах выщелачиванием компонентов с поверхности (Mo, иногда Cu, Zn) или

вторичным обогащением на выходах (Au, ниже зеркала грунтовых вод Ag, Cu). В число последних попадают месторождения свинцовых руд, в зоне окисления которых возможно появление ощутимых количеств вульфенита и ванадинита. Обнаруживаемые в связи с такими месторождениями ореолы рассеяния Mo и V при сопоставлении с результатами опробования канав могли бы характеризоваться кажущимися значениями  $k \leq 1,0$  при истинной величине коэффициентов  $k \geq 1,0$ . Представления о резком выщелачивании Cu, Zn, Mo из зоны окисления иногда могут быть преувеличены в связи с переходом большей части общего количества этих металлов в безминеральную форму и образованием вторичного (бокового) ореола рассеяния уже в толще коренных пород. Этот ореол рассеяния, выходящий за пределы видимой рудной зоны, нередко исключается из разведочного опробования.

Хотя общее число определений местных значений  $k$  для территории СССР значительно превышает число определений  $\sigma$ , дальнейшее накопление сведений об оценках коэффициентов остаточной продуктивности для главных рудных элементов в ландшафтах рудных районов необходимо. Это в первую очередь относится к условиям горно-таежных и горно-тундровых ландшафтов Крайнего Северо-Востока СССР, где число определений  $k$  еще недостаточно.

Коэффициент остаточной продуктивности, наравне с коэффициентом гипергенного рассеяния, — одна из характеристик геохимической подвижности элементов в остаточных ореолах рассеяния. Рассмотрение корреляционных зависимостей между коэффициентами  $k$  и  $\sigma$  для отдельных участков обнаруживает устойчивые отрицательные связи между ними. Это не противоречит геохимическим представлениям о характере их зависимости — убывании  $k$  с возрастанием подвижности элемента. Эта зависимость, по мнению М.Д. Каргера, может быть представлена в виде выражения  $k = e^{-\xi\sigma^2}$ , где  $\xi$  — величина, не зависящая от характера геохимического ландшафта и времени гипергенного выветривания.

На основании конкретных значений  $\sigma$  и  $k$  проведен расчет минимальных линейных продуктивностей коренного полиметаллического оруденения  $(M_p)_{\min}$ , обнаружение которого по вторичным ореолам рассеяния гарантируется при детальном литохимическом съемках масштаба 1:10 000 в условиях горнорудных районов. Зададимся условием, что для выявления аномалии в двух смежных точках съемочной сети содержание рудного элемента должно достигать его нижнего аномального значения  $C_A = C_{\phi}\epsilon^3$ . Тогда, зная параметры геохимического фона  $(C_{\phi}, \epsilon)$ , шаг опробования  $(\Delta x)$ , можно рассчитать линейную продуктивность такого ореола рассеяния  $(M)$ . Эти расчеты ведутся по двум точкам, что при шаге опробования 20 м соответствует эффективной ширине ореола рассеяния  $2a$ , равной 40 м. Получая из табл. 4 среднее значение коэффициента гипергенного рассеяния  $\sigma$ , находим, какую величину в долях  $\sigma$  составляет эффективная ширина ореола:  $x = 2a/\sigma$ . В случае не-

Таблица 8

Минимальные линейные продуктивности рудных зон  $(M_p)_{\min}$  (в м%), выявляемые литохимической съемкой при шаге опробования 20 м

Геохимический ландшафт	Свинец		Цинк		Медь	
	$\frac{k}{\sigma}$	$(M_p)_{\min}$	$\frac{k}{\sigma}$	$(M_p)_{\min}$	$\frac{k}{\sigma}$	$(M_p)_{\min}$
Горно-лесной, семигумидной зоны с участками сернокислого выщелачивания	0,68	0,18	0,25	—	0,17	1,18
	13,6		—		16,8	
Горно-лесной, лесостепной, крутых склонов семиаридной зоны	0,85	0,14	0,54	1,11	0,75	0,27
	11,3		8,9		7,9	
Степной, горных склонов южной экспозиции аридной зоны	1,41	0,09	0,79	0,76	1,34	—
	6,8		7,9		—	

Продолжение табл. 8

Геохимический ландшафт	Серебро		Мышьяк		Молибден	
	$\frac{k}{\sigma}$	$(M_p)_{\min}$	$\frac{k}{\sigma}$	$(M_p)_{\min}$	$\frac{k}{\sigma}$	$(M_p)_{\min}$
Горно-лесной, семигумидной зоны с участками сернокислого выщелачивания	0,54	0,0007	0,43	0,47	1,20	0,013
	10,1		8,1		9,8	
Горно-лесной, лесостепной, крутых склонов семиаридной зоны	0,46	0,0009	0,79	0,25	0,69	0,023
	10,5		6,0		4,3	
Степной, горных склонов южной экспозиции аридной зоны	0,91	0,0004	0,72	0,28	0,54	0,030
	5,4		9,8		13,0	

достаточной ширины интервала подсчета ( $x < 2a$ ) из табличных значений интеграла вероятности [39] находим поправочный множитель  $1/\Phi(x)$ , умножая на который величину линейной продуктивности ореола рассеяния находим ее минимальное значение  $M_{\min}$ . Принимая значение коэффициента  $k$  по данным табл. 5 и 7, получаем минимальную продуктивность коренного оруденения (табл. 8). Найденные величины линейных продуктивностей рудных элементов могут соответствовать зоне убогой минерализации коренных пород, в частности первичному надрудному ореолу слепого оруденения. Одновременно по величинам  $M_{\min}$  и  $\sigma$  можно оценить ожидаемые максимальные содержания элементов в ореоле

рассеяния, находящемся в различных ландшафтно-геохимических условиях:

$$C_{\max} = \frac{M}{\sigma\sqrt{2\pi}} + C_{\text{ф}}$$

Приведенные расчеты, основанные на местных параметрах вторичных остаточных ореолов рассеяния  $\sigma$  и  $k$ , подтверждают эффективность поисков скрытого полиметаллического оруденения даже на стадии детальны работ именно по вторичным ореолам рассеяния. В данных ландшафтах переход к олробованию с поверхности в поисковых целях коренных пород не только резко удорожает работы (расчистки, копуши, дробление проб), но и может приводить к снижению геологической надежности геохимических поисков.

### **ПОИСКОВО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ НАЛОЖЕННЫХ И ПОГРЕБЕННЫХ ОСТАТОЧНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ В ЗАКРЫТЫХ РУДНЫХ РАЙОНАХ**

Теоретические основы поисков по наложенным ореолам рассеяния рудных месторождений были впервые сформулированы Н.И. Сафроновым в 1936 г., но широкое применение в практике геохимических работ получили только в последние годы в связи с геологическими съемками на закрытых территориях в пределах „старых” горнорудных районов. Методика геохимических поисков в закрытых рудных районах ориентируется на обнаружение крупных погребенных месторождений, выведенных на древнюю эрозионную поверхность интервалами богатых промышленными содержаниями металлов.

Закрытые территории экономически развитых районов с ограниченной мощностью перекрывающих отложений — важнейший резерв для выявления новых промышленных месторождений различных типов. В этих условиях рудные месторождения, помимо погребенных остаточных ореолов рассеяния в древней коре выветривания, способны образовывать в рыхлом чехле и на его поверхности вторичные наложенные лито-, атмо- и биогеохимические ореолы рассеяния. Основные процессы, формирующие вторичные наложенные ореолы рассеяния, — диффузия солевых и газовых компонентов, в том числе паров металлов, процессы фильтрации и электрохимического переноса, а также капиллярное и биогенное распространение солевой составляющей наложенных ореолов с последующей фиксацией на геохимических барьерах (сорбционном, биогенном, испарительном, окислительно-восстановительном, кислотно-щелочном и т.д.).

Наиболее благоприятные условия для образования вторичных наложенных ореолов рассеяния возникают при гипергенных изменениях существенно сульфидных, в частности колчеданно-полиметаллических,

месторождений, имеющих многокомпонентный состав и относительно высокие кларки концентраций химических элементов в рудах. Вторичные наложенные ореолы рассеяния рудных месторождений способны проявляться при любой мощности рыхлых отложений, но вследствие природных и технических помех, а также недостаточной чувствительности и точности существующих методов анализа их выявление при мощности дальнеприносных отложений более 10–15 м затруднено.

В общем случае обнаружение слабых наложенных ореолов на дневной поверхности определяется выбором такой методики анализа литохимических проб, которая позволяла бы усиливать контрастность аномалий  $\gamma$ , т.е. увеличивать отношение полезного сигнала к уровню помех. При значениях  $1 \leq \gamma \leq 3$  слабая аномалия может быть выявлена только при увеличении плотности точек наблюдения, а при  $\gamma < 1$  наложенные ореолы при стандартных съемках не обнаруживаются на дневной поверхности. Согласно зависимости показателя контрастности слабых аномалий одновременно от амплитуды полезного сигнала ( $C_{\max} - C_{\phi}$ ) и параметров фона, изменяя технику анализа или методику полевых работ, можно добиться таких соотношений  $C_{\max}$ ,  $C_{\phi}$  и  $\epsilon$ , при которых  $\gamma \geq 3$ . В этом случае погребенное месторождение будет выявлено по его наложенному ореолу рассеяния уже при попадании в его контур одной-двух точек пробоботбора с содержаниями  $C_A \geq C_{\phi} \epsilon^3$ , где  $C_A$  — нижнее значение аномальных содержаний.

Выявление слабых геохимических аномалий, скрытых за уровнем помех, возможно путем избирательного извлечения в раствор легкоподвижных форм нахождения рудных элементов. Можно привести многочисленные примеры обнаружения солевых наложенных ореолов рассеяния полиметаллических месторождений при мощности аллохтонных отложений от 20 (таежные условия) до 120 м (степные ландшафты) [34] при наземных литохимических съемках, основанных на различных приемах частично-фазового анализа проб.

Метод поисков по металлоорганическим соединениям, разработанный Л.В. Антроповой, основан на накоплении в почвах рудных элементов, входящих в состав гуматного и фульватного комплексов и извлекаемых пирофосфатной вытяжкой с определением в фильтрате тяжелых металлов [1].

Специальные исследования наложенных ореолов рассеяния металлоорганических соединений свинца, цинка, меди, проведенные на погребенных полиметаллических месторождениях Центрального Казахстана и Рудного Алтая, показали, что они характеризуются достаточно высокой контрастностью. Например, месторождение Жайрем в Атаусуйском районе, перекрытое толщей глин мощностью 30–60 м, отчетливо фиксируется, по данным опробования горизонта гумусированных песков, на поверхности. Суммарное отношение содержаний свинца и цинка к углероду в верхнем слое песков достигает 0,7 % при фоновых значениях



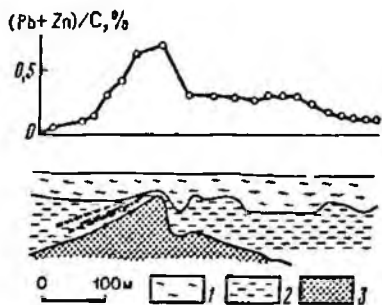


Рис. 22. Отношения  $\Sigma \text{Me}/\text{C}$  в составе фульватно-гуматного комплекса почв месторождения Жайрем [1]:

1 — глины с горизонтом гумусированных песков; 2 — осадочные породы; 3 — рудное тело

этого показателя, составляющих тысячные доли процента (рис. 22). Эффективная ширина наложенного ореола рассеяния на этом профиле составляет 300—400 м. Изучение солевых наложенных ореолов рассеяния месторождения Жайрем, проведенное Г.Ф. Ларионовым и Т.М. Самохваловой, показало, что при глубине опробования около 1,5 м месторождение отчетливо фиксируется ореолами цинка, меди, свинца, а также бария и марганца. При этом ореолы рассеяния бария формируются только над барит-полиметаллическими рудами, а над железо-марганцевыми отсутствуют.

В пределах Красноярского колчеданно-полиметаллического месторождения контрастные аномалии свинца и меди отмечаются в составе фульватно-гуматного комплекса почв над рудной зоной, перекрытой 80-метровой толщей дальнеприносных глин. На рис. 23 показано рас-

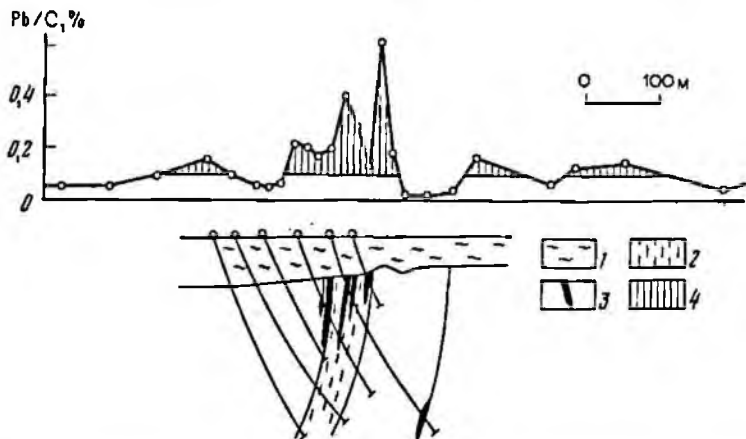


Рис. 23. График изменения содержаний свинца в составе фульватно-гуматного комплекса почв Красноярского месторождения [1]:

1 — рыхлые отложения; 2 — рудовмещающая толща; 3 — полиметаллические руды; 4 — область аномальных содержаний  $\text{Pb}/\text{C}$

пределение металлоорганических форм свинца на одном из профилей, где наблюдались максимальные аномалии свинца ( $Pb/C = 0,6\%$ ) и меди ( $Cu/C = 0,9\%$ ).

Для выделения наложенных ореолов рассеяния Ю.Е. Саев и Н.И. Невзжская предложили методику рационального (фазового) анализа, заключающуюся в последовательной обработке проб растворителями, извлекающими все более прочносвязанные соединения [34]. Исследования показывают, что погребенные полиметаллические месторождения четко фиксируются на поверхности рыхлого чехла при определении суммы металлов в ацетатно-буферной вытяжке ( $pH = 4,2$ ), являющейся селективным растворителем по отношению к карбонатным минералам и воднонерастворимым сульфатам. Ацетатно-буферная смесь составляется из двух объемов 1 М уксусной кислоты и одного объема 1 М раствора уксуснокислого натрия. Обработка пробы этой смесью происходит в течение 20 мин на кипящей водяной бане с последующим фильтрованием и определением содержания суммы металлов в фильтрате [34].

Над рудоносными зонами полиметаллического месторождения Ушкатын III при мощности чехла до 30 м фиксируется контрастный, комплексный наложенный ореол рассеяния свинца, цинка, меди с эффективной шириной, в 2 раза превышающей мощность рудоносной зоны. Наложённые ореолы, извлекаемые ацетатно-буферной вытяжкой, развиты на всю мощность рыхлого покрова и особенно контрастно проявлены в верхнем почвенном горизонте; максимальные содержания суммы металлов достигают  $400 \cdot 10^{-5}\%$  при фоне  $8 \cdot 10^{-5}\%$ . По данным Б.П. Виноградова и других исследователей, на этом объекте на глубине 1,5 – 2 м отмечаются контрастные наложенные ореолы рассеяния иода, отвечающие конфигурации рудных тел [23].

Рассмотренное выше Красноярское колчеданно-полиметаллическое месторождение фиксируется также солевыми наложенными ореолами рассеяния свинца, цинка, меди, выявляемыми при анализе ацетатно-буферной вытяжки из проб, отобранных с поверхности рыхлого чехла (рис. 24).

Белоглинское месторождение перекрыто валунно-галечными речными отложениями мощностью около 70 м. На поверхности чехла в эпицентре рудной залежи в ацетатной вытяжке устанавливается аномалия тяжелых металлов с содержаниями до  $30 \cdot 10^{-5}\%$  при фоне  $8 \cdot 10^{-5}\%$ . Для приведенного на рис. 25 профиля четкая аномалия выявляется также по валовым содержаниям суммы металлов с максимальными значениями  $30 \cdot 10^{-3}\%$ .

Наряду с методами фазового анализа проб стал применяться геоэлектрохимический метод поисков, известный под названием „частичного извлечения металлов“ (ЧИМ) в точках наблюдения [33]. Метод основан на избирательном извлечении ионов из растворов, насыщающих горные породы, путем пропускания постоянного электрического тока между

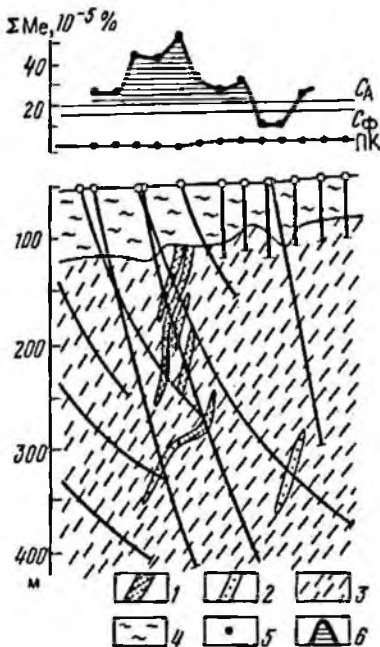


Рис. 24. График распределения суммы содержаний меди, свинца, цинка  $\Sigma Me$  в гумусовом горизонте почвы Красноярского месторождения [34]:

1 — сплошная полиметаллическая руда; 2 — богато акристаллизованная полиметаллическая руда; 3 — вулканогенно-осадочная толща иртышской свиты; 4 — глины и суглинки неоген-четвертичного возраста; 5 — точки литохимического опробования; 6 — область повышенного содержания  $\Sigma Me$

заземлениями. В такой цели электрохимические процессы протекают в ближайшей приэлектродной зоне. В пористой влагонасыщенной среде на катоде основными продуктами электрохимического процесса являются гидроксил  $OH^-$  и газообразный водород. Для ионов большинства металлов, движущихся к катоду, встреча с ионами гидроксила приводит к образованию труднорастворимых гидратов и на поверхности

электрода рудные элементы не осаждаются. Чтобы обеспечить их накопление, катодный электрод помещают в пористый сосуд-элементоприемник, наполненный электролитом, чаще всего раствором азотной кислоты с pH от 1 до 2, соли которой в большинстве хорошо растворимы. Наличие кислоты обеспечивает нейтрализацию ионов  $OH^-$ , а встречное движение анионов  $NO_3^-$  не мешает приходу и накоплению катионов металлов. Практическое применение получил ореольный вариант метода ЧИМ, при котором элементоприемники устанавливаются в точках поисковой сети на поверхности земли. После 40–50 ч нахождения элементоприемников под током их электролиты подвергаются анализу на содержание рудных элементов. Принудительное накопление преимущественно легкорастворимых соединений металлов позволяет в закрытых рудных районах выявлять методом ЧИМ весьма слабые наложенные ореолы рассеяния, скрытые за уровнем природных и технических помех, а также аномалии таких элементов, интенсивность которых ниже чувствительности валового анализа проб.

Ореольный вариант метода ЧИМ реализован в виде серийных станций ЧИМ-10 на автомашине ЗИЛ-131. Станция обеспечивает селективное извлечение подвижных форм элементов и их концентрирование в 28 эле-

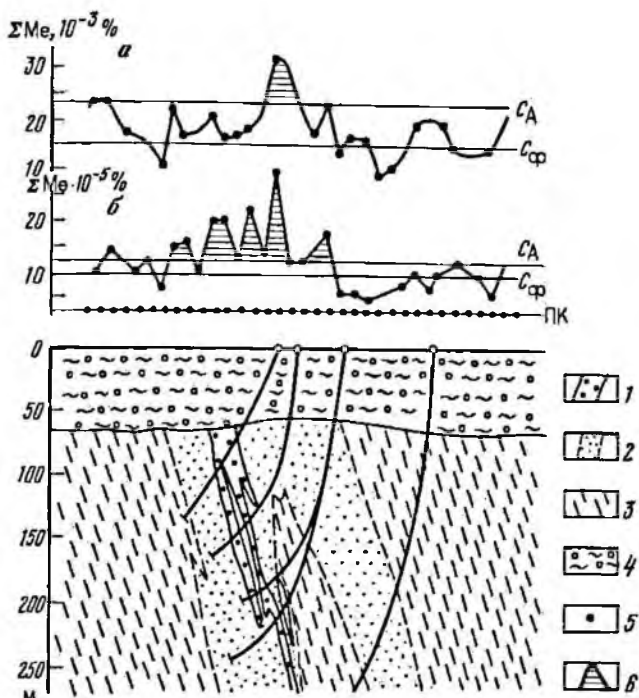


Рис. 25. Графики распределения суммы содержаний меди, свинца и цинка  $\Sigma Me$  в валовых пробах (а) и ацетатно-буферных вытяжках (б) из почв Белоглинского месторождения [34];

1 — полиметаллическая руда; 2 — зона первичного ореола; 3 — вулканогенно-осадочная толща лосихинской свиты; 4 — валунно-галечные глинистые и суглинистые отложения четвертичного возраста; 5 — точки опробования; 6 — область повышенного содержания  $\Sigma Me$

ментоприемниках одновременно. Мощность станции 10 кВт, общий ток через все приемники может достигать 20 А.

Результаты съемок методом ЧИМ над одним из полиметаллических месторождений Рудного Алтая приведены на рис. 26. Оруденение, залегающее под чехлом молодых отложений мощностью 60–70 м, приурочено к контакту туфо-сланцевой толщи с гранодиоритами. Рудная зона выделяется аномалией извлеченного свинца до 100 мкг при фоне 20–40 мкг. Менее четко выделяет рудоносную зону аномалия меди (40–50 мкг при фоне 20–25 мкг) [33].

До последнего времени съемки методом ЧИМ проводились в очень детальных масштабах (1:2000 — 1:10 000), например по сети 50–100х

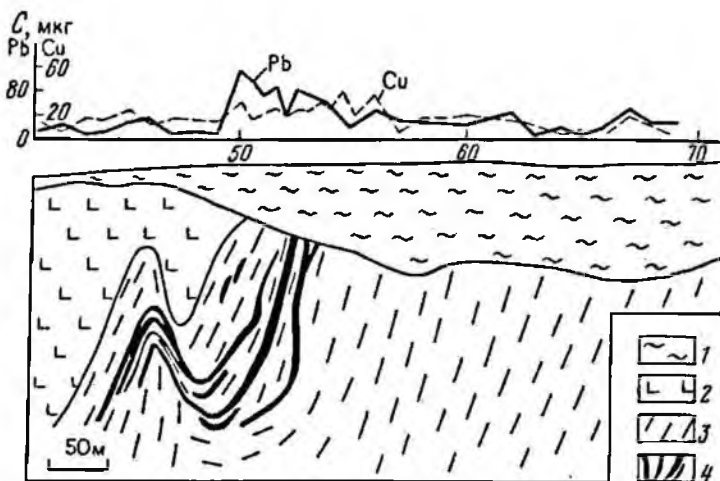


Рис. 26. Графики распределения свинца и меди по данным наблюдений методом ЧИМ на полиметаллическом месторождении Рудного Алтая. По И.С. Гольдбергу  
 1 — рыхлые отложения; 2 — гранодиориты; 3 — туфо-сланцевая толща; 4 — рудные тела

х10–20 м. Реальные результаты поисков этим методом можно ожидать только при переходе к съемкам в масштабах 1:100 000 – 1:50 000 на больших территориях закрытых рудных районов, в первую очередь в ландшафтах сухих степей.

Эффект накопления металлов в элементоприемниках при съемках ореольным вариантом ЧИМ наблюдался и при отсутствии электрического тока в цепи заземлений, что можно объяснить явлениями диффузии [9].

Новым, близким методу ЧИМ, является метод извлечения рудных элементов из приземной атмосферы. При наблюдениях этим методом специальные ионоприемники — сосуды с электролитом, закрытые мембраной, размещаются через 20 м по профилю на высоте от 2,5 до 50 см над землей. После экспозиции в течение 20 ч электролиты подвергаются анализу на содержание рудных элементов [16]. Авторы приводят пример обнаружения этим методом наложенных ореолов рассеяния над погребенным серебряно-свинцовым месторождением.

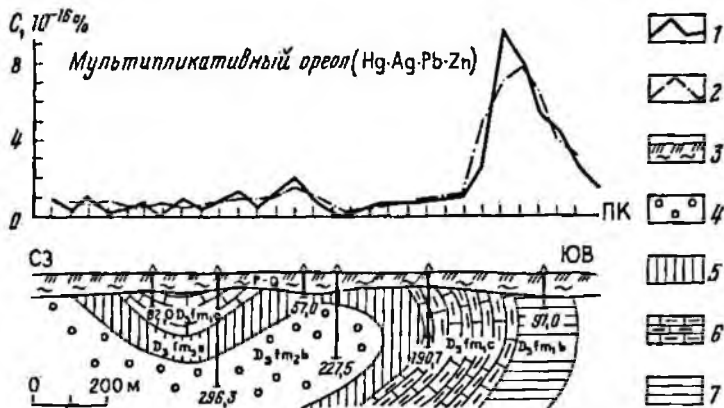
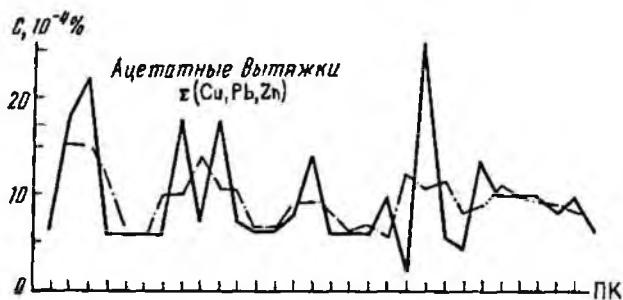
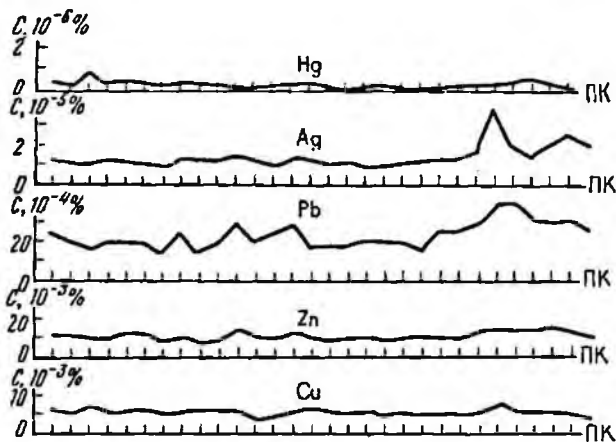
К числу конкурирующих методов могут быть отнесены специальные методы математической обработки данных литохимической съемки по результатам обычного валового спектрального анализа [37]. Простейший метод обнаружения слабых аномалий, скрытых за уровнем природных и технических помех, — осреднение первичных данных методом

„скользящего окна“ и перемножение (мультипликация) содержаний нескольких элементов типоморфного комплекса по точкам съемочной сети. При значительном объеме геохимических данных осреднение и мультипликация ведутся с помощью ЭВМ по программам, входящим в автоматизированную систему обработки геохимических данных (АСОГД). Площадные наземные литохимические съемки с целью поисков погребенных месторождений были впервые проведены в Рубцовском районе Рудного Алтая с обработкой данных по программам „МГУ-100“ — „МГУ-104“. В результате такой обработки между Рубцовским и Таловским месторождениями были выявлены протяженные (800—1000 м) наложенные ореолы рассеяния над погребенным оруденением при мощности чехла 100—120 м [25]. Проверкой одного из наложенных ореолов рассеяния на участке Потеряевский с мощностью чехла аллохтона 80—90 м по двум профилям глубинной литохимической съемки установлены содержания цинка до 0,2 %, меди до 0,15 % и свинца до 0,08 %. Из 21 пробуренной здесь скважины в 17 были встречены аномальные содержания рудных элементов [37].

На примере месторождения Арап рассматриваются некоторые особенности выявления вторичных наложенных ореолов рассеяния в условиях сухостепных аридных ландшафтов Центрального Казахстана. Месторождение приурочено к северо-западной части Жайылминской мульды и располагается в пределах Арапской синклинали структуры. Оруденение локализовано в кремнисто-карбонатных породах  $D_3 fm_2$  и представлено железомарганцевыми и полиметаллическими рудами. Все железомарганцевые тела имеют четко выраженную пластовую и линзообразную форму. Полиметаллическое оруденение представлено прожилками и вкрапленностью галенита и сфалерита. Рудовмещающие палеозойские образования месторождения Арап перекрыты кайнозойскими глинами и песками средней мощности 40—50 м.

Для выявления вторичных наложенных ореолов рассеяния в пределах рудного поля была проведена наземная литохимическая съемка по трем профилям с шагом 50 м и пробоотбором с глубины 20—30 см. По данным анализа этих проб были выявлены только околофоновые содержания свинца, цинка, серебра, ртути. Для усиления сигнала проведены мультипликация содержаний этих элементов и сглаживание окном в три точки [39]. Это позволило выявить наложенный ореол рассеяния с максимальными содержаниями, достигающими  $8 \cdot 10^{-16}$  % при фоне  $0,8 \cdot 10^{-16}$  % (рис. 27). Параллельно с этим изучены солевые формы нахождения металлов по уксуснокислым вытяжкам. Полученные результаты характеризуются большой дисперсией и не обнаруживают явных аномальных содержаний.

Выделение наложенных ореолов рассеяния возможно методом построения полиэлементных функций на основе классификации аномальных



точек по угловой мере сходства. Объектом исследований было полиметаллическое месторождение Узунжал, расположенное в степной аридной зоне Центрального Казахстана.

Месторождение приурочено к толще массивных известняков, переслаивающихся с кремнисто-глинистыми сланцами, песчаниками, глинистыми известняками турнейского яруса нижнего карбона. Рудное тело представлено пластовой линзообразной залежью, часть которой выведена на мезозойскую денудационную поверхность. Среди рудных минералов преобладают галенит, пирит, блеклые руды, сфалерит. В зоне окисления развиты церуссит, пироморфит, англезит, смитсонит, биберит.

В области положительных форм рельефа и развития современных элювио-делювиальных образований рудовмещающих пород месторождение образует вторичный остаточный ореол рассеяния площадью 0,08 км<sup>2</sup> с максимальным содержанием свинца 1,25 %. Остаточный ореол рассеяния к северо-западу переходит в погребенное состояние под покров палеоген-неогеновых глин мощностью 30—40 м. По аллохтонным отложениям формируются маломощные плохо развитые светло-каштановые почвы. Литохимическая съемка на закрытой части участка проводилась по сети 250x50 м с глубиной пробоотбора 15—20 см. На всех профилях общим спектральным анализом выявлены только слабоаномальные содержания рудных элементов. На поверхности чехла в эпицентре залежи максимальные содержания в наложенном ореоле рассеяния достигают: свинца до 0,008 % ( $C_{\phi} = 0,002$  %), серебра до  $1,8 \cdot 10^{-5}$  % ( $C_{\phi} = 0,8 \cdot 10^{-5}$  %), цинка до 0,02 % ( $C_{\phi} = 0,015$  %). В юго-западных концах профилей отмечается геохимическая аномалия, имеющая недавнее техногенное происхождение.

Обработка геохимических данных по программам В.А. Николаева и Ю.В. Шварова позволила найти полиэлементную функцию, отвечающую рудному сигналу (рис. 28). Выбранная функция оптимальным образом характеризует вторичный наложенный ореол рассеяния погребенной части месторождения и значительно подавляет техногенную аномалию.

Выделение солевых наложенных ореолов рассеяния над погребенными месторождениями с помощью полиэлементных линейных функций возможно только с применением ЭВМ. Однако последующие расчеты полиэлементной функции могут производиться вручную с помощью клавишных микрокалькуляторов непосредственно в полевой обстановке вслед за получением результатов спектрального анализа проб.

Наложённые ореолы рассеяния при поисках погребённых месторож-

---

Рис. 27. Вторичные наложенные ореолы рассеяния над погребённым месторождением Арап. По Н.З. Хаматдинову.

1 — графики содержаний элементов; 2 — то же, сглаженные окном в три точки; 3 — глины, пески; 4 — красноцветные известняки; 5 — железистые и марганцевые руды с прослоями кремнистых известняков; 6 — углисто-кремнисто-карбонатные породы; 7 — мергелистые известняки



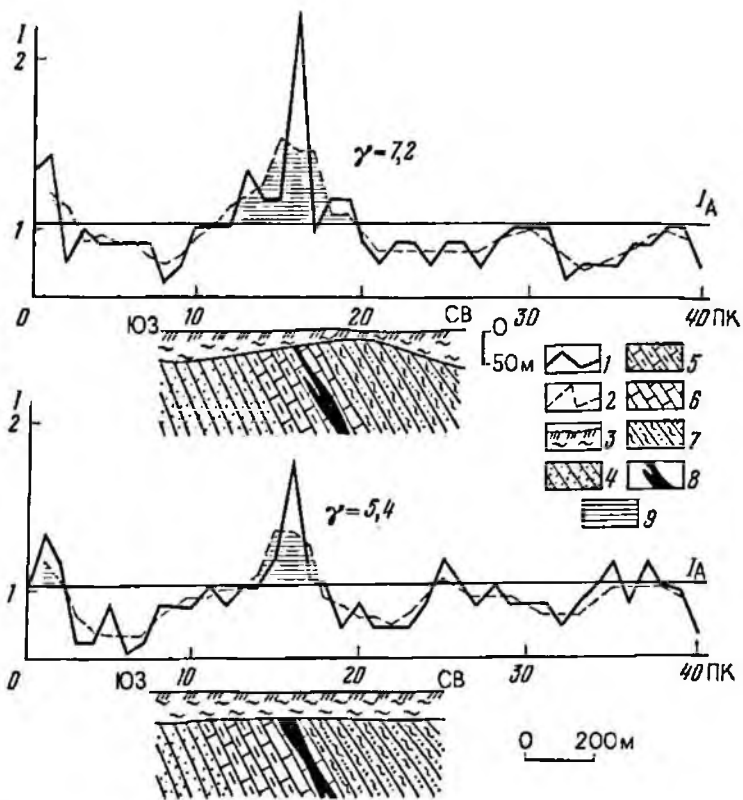


Рис. 28. Результаты наземной литохимической съемки по профилям II и IV над месторождением Узунжал:

1 — графики значений полиэлементной линейной функции  $I = 0,68 \lg Zn + 0,39 \lg Pb + 0,3 \lg Ag + 0,23 \lg Cu - 0,38 \lg Co - 0,25 \lg Hg - 0,18 \lg Mo$ ; 2 — то же, сглаженные окном в три точки; 3 — глины; 4 — песчаники; 5 — глинистые известняки; 6 — известняки; 7 — полимиктовые песчаники; 8 — рудная залежь; 9 — область аномальных значений  $I_A$

дений могут быть обнаружены методом выделения и анализа термомагнитной фракции (ТМФ). В основе метода лежит тот факт, что многие рудные элементы в гипергенных условиях имеют способность концентрироваться в железомарганцевых соединениях. Принципиальная возможность привлечения анализа термомагнитных фракций для усиления литохимических аномалий в открытых районах была показана А.Н. Боголюбовым и Н.А. Ворошиловым в 1974 г. Опыт применения метода ТМФ при

выявлении наложенных ореолов рассеяния погребенных месторождений принадлежит А.А. Матвееву.

Отобранные с поверхности аллохтонного чехла литохимические пробы подвергаются термической обработке в муфельной печи при температуре, близкой к 700 °С. Для создания восстановительной обстановки обжиг ведется в угольных тиглях. При обжиге содержащееся в пробах железо из слабомагнитных минеральных форм переводится в сильномагнитные (магнетит, маггемит). Извлеченная магнитная фракция поступает на эмиссионный спектральный анализ.

Исследование наложенных ореолов рассеяния методом ТМФ над погребенными колчеданно-полиметаллическими месторождениями Рудного Алтая дало обнадеживающие результаты [41]. Над Золотушинским месторождением при мощности аллохтонного чехла более 100 м выявлены три аномалии Pb-Ag-Zn. Над выходом известного рудного тела максимальные содержания в ТМФ составили (в %): цинка — 0,035 при фоне 0,0053; свинца — 0,008 при фоне 0,0019; серебра —  $8 \cdot 10^{-5}$  при фоне  $1,2 \cdot 10^{-5}$ . Контрастность мультипликативной аномалии, сглаженной окном в 5 точек, составила 6,1. Такая же контрастная аномалия выявлена в пределах пикетов, отвечающих проекции выхода рудной зоны по восставанию. Третья аномалия ( $\gamma = 5,3$ ) оценена с помощью глубинной геохимической съемки, вскрывшей на глубине 144 м зону рудной минерализации. Заметим, что в этом районе в результате математической обработки геохимических данных путем их мультипликации и сглаживания аномалия не была обнаружена.

Над колчеданно-полиметаллическим оруденением участка Новенький (Рудный Алтай) выявленные с помощью ТМФ наложенные ореолы рассеяния свинца, серебра, цинка, меди и кобальта имеют четкую связь с остаточными ореолами рассеяния, развитыми в древней коре выветривания (рис. 29). Максимальными значениями показателей контрастности на поверхности аллохтонного чехла в наложенном ореоле рассеяния характеризуются содержания серебра ( $\gamma = 10,1$ ), свинца ( $\gamma = 6,8$ ) и меди ( $\gamma = 5,4$ ). Приведенные данные свидетельствуют о значительных возможностях метода ТМФ при поисках погребенных колчеданно-полиметаллических месторождений с мощностью аллохтонного покрова до 150 м.

В настоящее время наземные литохимические съемки целесообразно ограничить мощностью чехла 100–120 м; наибольшую эффективность можно ожидать при поисках погребенных колчеданно-полиметаллических месторождений в аридных условиях. Предпочтительно совместное проведение наземных литохимических и атмосферных, в том числе и газортутных съемок. Убедительным примером пространственного совпадения аномалий газортутовой и литохимической съемок являются данные по Рубцовскому месторождению, перекрытому чехлом рыхлых отложений мощностью до 100 м (рис. 30).

Высокая информативность газовых ореолов ртути при поисках по-

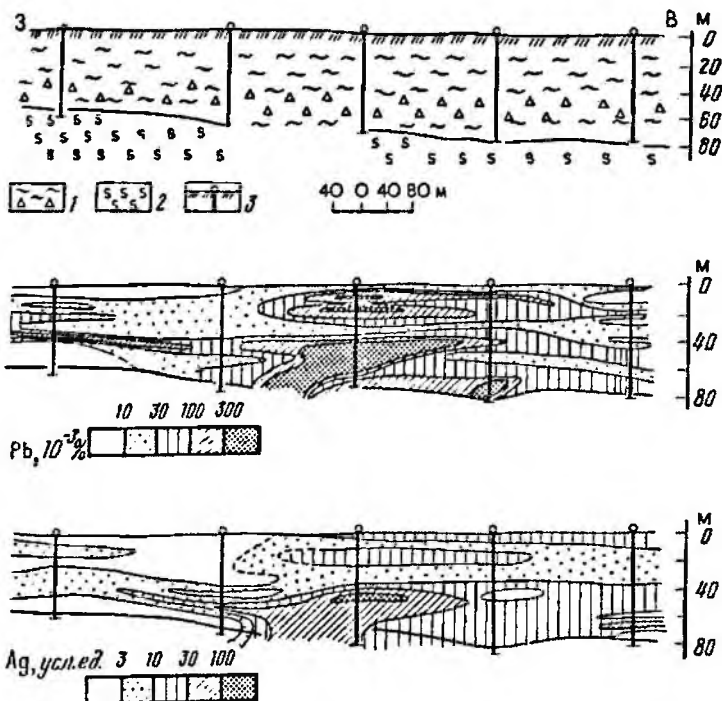


Рис. 29. Вторичные наложенные ореолы рассеяния свинца и серебра в ТМОФ в вертикальном разрезе рыхлых отложений участка Новенький. По А.А. Матвееву.

1 — аллювиальный чехол; 2 — кора выветривания; 3 — скважины глубинной литохимической съемки

гребенных месторождений подтверждается исследованиями В.З. Фурсова [47]. На скарново-полиметаллическом месторождении Ташбулак, перекрытом глинами, песчаниками, известняками палеогена и галечниками с песком четвертичного возраста мощностью 100–110 м, зафиксированы вторичные ореолы рассеяния ртути интенсивностью  $8 \cdot 10^{-8}$  мг/л при фоне  $1,5 \cdot 10^{-8}$  мг/л. Эффективная ширина ореолов ртути 80–150 м при мощности рудных тел 3–12 м.

Существование комплексных лито- и атмохимических аномалий над погребенными рудными телами доказано при проведении исследований в Атасуйском рудном районе на полиметаллических месторождениях Ушкатын II и Ушкатын III [12]. Изучение почвенного газа, отобранного с глубины 3 м по профилям, пересекающим эти месторождения, показало наличие высокоаномальных содержаний углекислого газа (до 3,7 % при фоне 0,23 %) и кислорода (до 15,5 % при фоне 20,7 %) над погребен-

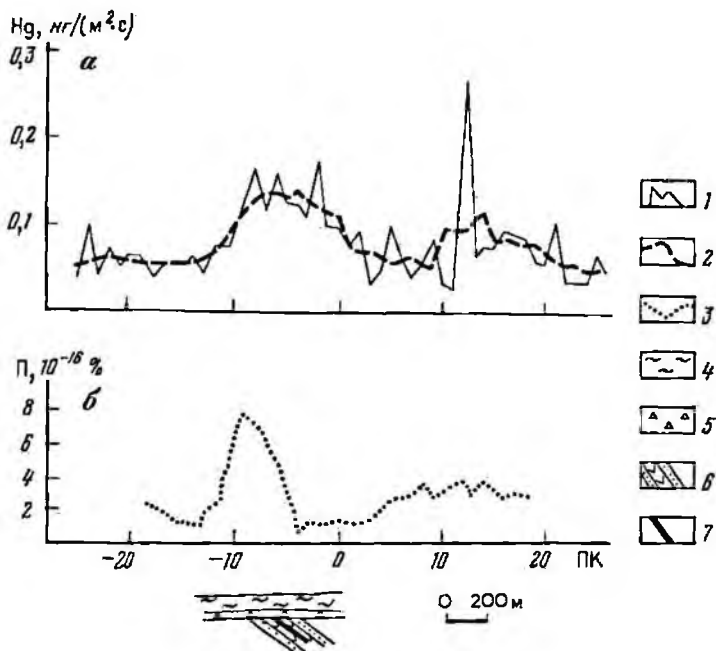


Рис. 30. Графики результатов газортутной и литохимической съемки по профилю IV Рубцовского месторождения. По И.И. Степанову, В.М. Вильдяеву (а) и А.П. Соловьеву (б).

1 — графики потока паров ртути; 2 — то же, после сглаживания окном с числом точек 5; 3 — график мультипликативных и сглаженных содержаний:  $P = \text{Cu} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Co} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Ba}$ ; 4 — рыхлые дальнопринесные отложения; 5 — кора выветривания; 6 — вмещающие породы; 7 — рудное тело

ными рудными телами. Менее интенсивно проявлены аномалии метана и водорода. Ширина геохимических ореолов рассеяния на уровне двух стандартов достигает 300 м.

В восточном борту Тургайского прогиба комплексной лито- и геохимической съемкой масштаба 1:100 000 на площади участка Алыс при мощности перекрывающего чехла 40–50 м выявлены газовая аномалия с высокими содержаниями углекислого газа, метана, водорода и низким содержанием кислорода и мультипликативный литохимический ореол (рис. 31). Проверка этой аномалии глубинной литохимической съемкой и колонковым бурением показала наличие стратиформного свинцово-цинкового оруденения [17]. Опыт работ показывает, что первоочередного внимания заслуживают те газовые аномалии, которые на всей своей протяженности или части ее совпадают с мультипликативными литохими-

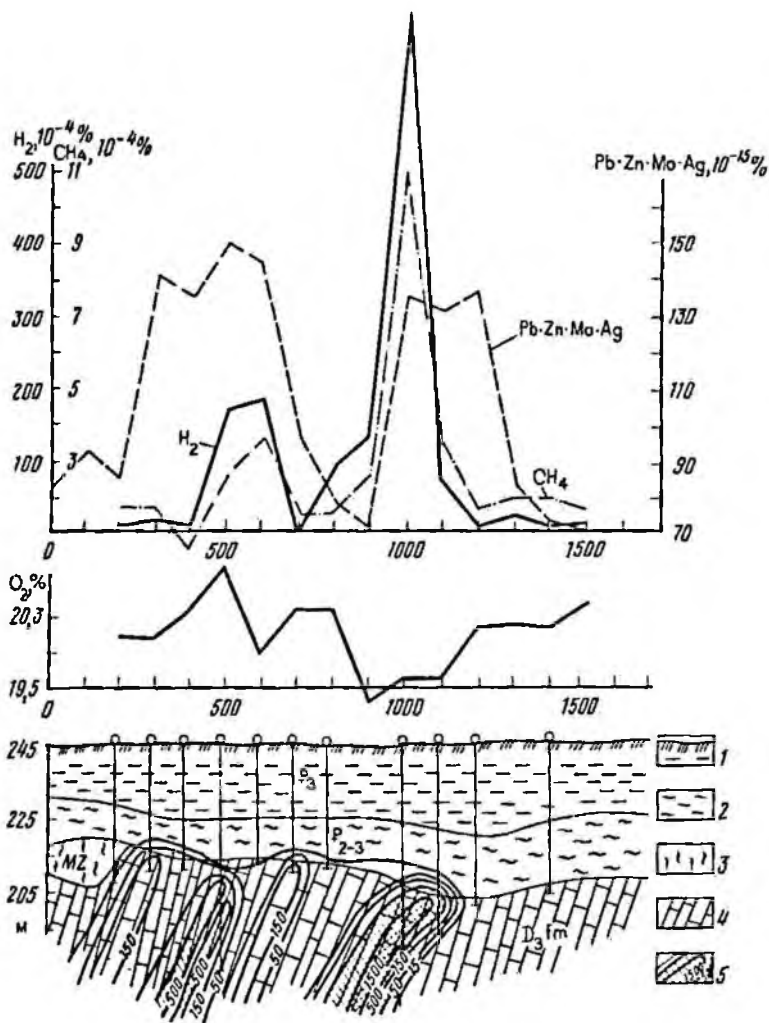


Рис. 31. Графики атмосферической съемки и результаты литохимической съемки с мультипликацией первичных данных на участке Алыс. По С.А. Воробьеву.  
 1 — песчано-глинистые отложения; 2 — глины; 3 — кора выветривания; 4 — известняки; 5 — изоконцентраты свинца (в  $л \cdot 10^{-3} \%$ )

ческими или газортутными аномалиями рудных элементов, типоморфных для ожидаемых погребенных месторождений.

Наложенные вторичные ореолы рассеяния — закономерный и обязательный признак погребенных месторождений. На выходе рудной залежи на поверхность фундамента в перекрывающих его отложениях возникают повышенные концентрации рудных элементов в жидкой и газообразной фазах, находящиеся в равновесии с твердой фазой при местных условиях температуры и давления. При самых малых градиентах концентраций рудных элементов в растворе или газообразной фазе большая длительность геологического времени обеспечивает условия для реализации диффузионного процесса, и задача заключается только в том, чтобы выявить его результаты на поверхности чехла.

Дальнейшее развитие методики геохимических поисков в закрытых рудных районах характеризуется совершенствованием старых и созданием новых методов выявления наложенных ореолов рассеяния непосредственно у дневной поверхности, определяющих переход к выборочному проведению глубинных литохимических съемок. Глубинные литохимические съемки направлены на первоначальное обнаружение, а затем и полное оконтуривание погребенного остаточного ореола рассеяния в древней коре выветривания или базальном горизонте чехла с целью оценки его геохимических параметров.

Остаточные погребенные ореолы рассеяния в древней коре выветривания — это палеоклиматические аналоги ореолов рассеяния, развивающихся в современном элювио-делювии. Наиболее благоприятные для развития погребенных остаточных ореолов рассеяния территории, претерпевшие длительный период континентального развития, предшествовавший накоплению платформенного чехла. В этих условиях на поверхности фундамента часто сохраняется древняя кора выветривания, в которой вторичные остаточные ореолы рассеяния получают максимальное площадное развитие, что облегчает их обнаружение при проведении глубинных поисков. По данным А.С. Миляева и А.Н. Фокина, на одном из свинцово-цинковых месторождений Центрального Казахстана погребенные остаточные ореолы рассеяния на уровне пестроцветной триасюрской коры выветривания в 20—30 раз превышали по площади размеры рудных тел и их первичных ореолов.

В разрезе коры выветривания погребенные ореолы имеют обычно асимметричную грибообразную форму, расширяющуюся на уровне „представительного горизонта для опоскования“. Этим понятием, по А.Н. Еремееву, обозначается наиболее приближенный к дневной поверхности горизонт максимального площадного и надежного развития вторичных ореолов рассеяния. Геохимическое опробование, проведенное выше или ниже представительного горизонта, может привести в первом случае к пропуску погребенного месторождения, во втором — к удорожанию глубинных съемок за счет повышенной глубины скважин, а также

к необходимости сгущения сети из-за уменьшения эффективных размеров ореолов рассеяния с глубиной. Для территории Северного и Центрального Казахстана представительным горизонтом, при котором допустимо проводить все расчеты продуктивностей и оценивать оруденение по геохимическим данным, является пестроцветный горизонт коры выветривания. В расположенном выше каолиновом горизонте вторичные ореолы рассеяния в результате интенсивного гипергенного выщелачивания бывают резко ослаблены.

Оценка параметров остаточного ореола рассеяния погребенного месторождения после его полного оконтуривания по профилю древней коры выветривания определяется видом графиков зависимости  $M_z = f(z)$  или  $P_z = f(z)$ , где  $M_z, P_z$  — соответственно линейная и площадная продуктивности ореола на глубине  $z$ , отсчитываемой от кровли элювиальной коры выветривания. По полученным данным определяют отметку, начиная с которой устанавливаются устойчивые значения  $M_z = \text{const}$  и  $P_z = \text{const}$ , что отвечает условию  $k \rightarrow 1,0$ . Выше этого горизонта величины  $M_z$  и  $P_z$  в зависимости от минералогических особенностей рудных компонентов могут иметь значения  $M_z \geq M$  и  $P_z \geq P$ . Надежность оценки прогнозных ресурсов металла в коренном оруденении повышается, если привлекаются данные геохимического опробования. Оценка выявленного погребенного месторождения определяется подсчетом прогнозных ресурсов по формуле [37]

$$Q_H = a \frac{1}{k} \frac{P}{40} H, \quad (5)$$

где  $a$  — поправочный множитель, учитывающий долю забалансовых руд. Правильность оценки прогнозных ресурсов во многом определяется выбором глубины подсчета  $H$ . В каждом случае выбор величины  $H$  определяется генетическим типом месторождения, пропорциональной зависимостью от продуктивности  $\sqrt{P_p}$  и глубиной эрозионного среза оруденения, оцениваемой с помощью геохимических показателей зональности  $v$ . При недостатке сведений о зональности уровень среза целесообразно принимать равным 0,5 от ожидаемой полной протяженности рудного интервала.

Успешное проведение глубинных литохимических съемок погребенных месторождений требует постоянного учета литологического состава, мощности, генезиса перекрывающих отложений, а также палеоклиматических и современных условий формирования вторичных ореолов рассеяния в древней коре выветривания и аллохтонном чехле. Прямые признаки оруденения, которые могут служить доказательством рудной природы наложенного ореола рассеяния, приносят много нового для уточнения методики литохимических поисков в закрытых районах. Многочисленные геоморфологические, гидрогеологические, ландшафтные и технические причины сильно осложняют взаимосвязи наложенных ореолов рассеяния с коренным оруденением, и задача эта непростая.

ПЕРВИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ  
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Повышение геологической эффективности геохимических исследований в рудных районах связано с развитием методики геохимических поисков месторождений по их первичным ореолам. Эта задача решается путем углубленного геохимического изучения хорошо разведанных „эталонных“ месторождений, обобщения накопленных эмпирических данных и построения моделей коренного оруденения важнейших генетических типов. Создание формализованных моделей, характеризующих различные месторождения в увязке с их генетической классификацией, и внедрение теоретических разработок в практику геологоразведочных работ увеличили надежность геохимических прогнозов.

В основе геохимических методов поисков по первичным ореолам лежит рассмотрение рудного тела и его первичного ореола в качестве единого целого — зоны рудной минерализации. Рудная залежь в контуре промышленных руд характеризуется временными, геолого-экономическими границами, поскольку при снижении бортового содержания ее контуры будут расширяться за счет прилегающих забалансовых руд. Условна и внешняя граница первичного ореола, которая асимптотически приближается к уровню геохимического фона. Зона рудной минерализации с условным внешним и временным внутренним контуром (руда — первичный ореол) характеризуется величинами линейных  $M_p$  и площадных  $P_p$  продуктивностей рудных элементов, их отношениями и другими геохимическими параметрами. Для познания внутренних геохимических закономерностей оруденения привлечение таких горнотехнических показателей, как среднее содержание металла в рудах ( $C_p$ ) или бортовое содержание ( $C_b$ ), не являющихся геохимическими параметрами, требует большой осторожности [37].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ЗОНАЛЬНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Для решения геологических задач, связанных с поисками, оценкой и прогнозом оруденения на глубину, решающее значение имеет наличие первичной геохимической зональности рудных месторождений. Зональность — это направленное в пространстве закономерное изменение соотношений между надфоновыми содержаниями или продуктивностями двух или большего числа химических элементов. Геохимическая зональность — вектор, который характеризуется тремя взаимно перпендикулярными составляющими по направлениям пространственных осей:  $x$  — вкрест простирания объекта (поперечная зональность);  $y$  — по прос-



тиранию рудной зоны (продольная зональность);  $z$  — по восстанию или падению (осевая или вертикальная зональность).

Количественными характеристиками оруденения в любой точке служат безразмерные величины отношений между содержаниями химических элементов, типоморфных для данного оруденения ( $\nu$ ). Признак геохимической зональности в контуре рудной залежи — упорядоченное изменение  $\nu$  в пространстве, в общем случае определяемое зависимостью

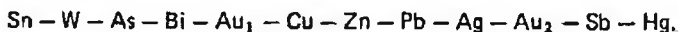
$$\frac{d\nu}{ds} = \sqrt{\left(\frac{\partial\nu}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\nu}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\nu}{\partial z}\right)^2},$$

где  $S$  — направление максимальной геохимической изменчивости оруденения.

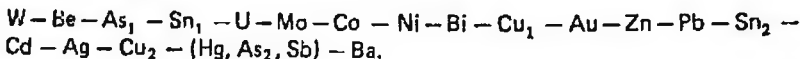
Особое практическое значение при геохимических поисках и оценке коренного оруденения имеет изучение зональности по вертикали  $\nu = f(z)$  и в плоскости рудных зон  $\nu = f(y, z)$ . Задача сводится к отысканию геохимических показателей  $\nu$ , однонаправленно убывающих (или возрастающих) в интервале от верхней до нижней границы первичного ореола.

Геохимическую зональность эндогенных, в частности гидротермальных, рудных месторождений отражает последовательный ряд элементов, ранжированных в порядке максимумов их отложения по мере продвижения от подрудных „высокотемпературных“ к надрудным „низкотемпературным“ горизонтам рудной зоны.

Впервые описание геохимической зональности гидротермальных месторождений по глубине дано В. Эммонсом в 1924 г. Последовательность отложения рудных элементов по его схеме отражается рядом (снизу вверх)



В последние годы сведения о зональности эндогенных месторождений различных формаций и их первичных ореолов обобщены в работах С.В. Григоряна и Л.Н. Овчинникова [3]. Предложенный ими обобщенный ряд зональности отложения элементов-индикаторов имеет вид (снизу вверх):



Индексы 1 и 2 при символах элементов означают, что в зависимости от минеральных форм и ассоциаций элементы могут занимать два места в зональном ряду.

Наблюдаемые отклонения от обобщенного ряда объясняются многообразием условий формирования конкретных месторождений. Различия в составе, температуре, давлении, физико-химических свойствах рудоносных растворов, а также в геолого-структурных и литологических особенностях вмещающих пород определяют разнообразие в распределении собственных минералов и минералов — концентратов рудных элементов в контурах залежи. Эндогенная зональность часто осложняется

многостадийным характером рудообразования и поздними процессами метаморфизма, включающими всевозможные пострудные преобразования. Вместе с тем генетически однотипные месторождения характеризуются близкой последовательностью отложения минералов, поскольку условия рудообразования в этом случае были достаточно схожими. Это позволяет проводить количественную оценку выявляемых объектов, сопоставляя их геохимические характеристики с характеристиками эталонных месторождений рассматриваемого типа.

В геологической практике давно отмечено закономерное изменение с глубиной соотношений между содержаниями элементов в рудах. Изменение состава полиметаллических руд с глубиной было известно более 200 лет назад горнякам Рудного Алтая, отмечавшим снижение „свинцовистости” и возрастание „цинковистости” по падению рудных залежей, т.е. направленное изменение геохимического показателя  $\nu = \text{Pb}/\text{Zn}$  [37]. Аналогичные соотношения между свинцом и цинком для полиметаллических месторождений отмечали П.П. Буров для Алтая, Г.С. Лабазин для Салаира, К.Л. Пожарицкий для Садона, В.И. Смирнов для Тетюхе [36]. Эти закономерности подтверждаются данными разведок на Благодатском и Алтын-Топканском месторождениях [32]. По результатам геохимических исследований, проведенных на ряде других объектов, также отмечается убывание величины  $\nu = \text{Pb}/\text{Zn}$  от верхних горизонтов оруденения к нижним. По И.П. Златогурской, для Згидского месторождения это отношение изменяется от 3,1 до 0,77. Для Кадаинского рудного поля в Восточном Забайкалье для надрудных, центральных и подрудных интервалов отношение  $\nu$  соответственно составляет 1,0; 0,5 и 0,2 [44]. Изменение величины показателя  $\text{Pb}/\text{Zn}$  в 20 000 раз в плоскости рудной зоны рудника Блайклиппен отмечается на протяжении 300 м [37].

Исследования зональности месторождений направлены к установлению рядов последовательного отложения рудных элементов по геометрии рудного тела и к отысканию контрастных геохимических показателей зональности  $\nu$ -отношений между продуктивностями (содержаниями) рудных элементов монотонно, т.е. однонаправленно, изменяющихся вдоль заданного направления, в частности с глубиной. Однако опыт исследования зональности месторождений показывает, что значительная часть, а в некоторых случаях и все парные отношения между продуктивностями двух рудных элементов не обладают свойством монотонности. Это связано с изменениями геолого-структурных условий, различиями в миграционной способности элементов, минералогической зональностью оруденения и наличием многочисленных природных и технических помех случайного характера. Вследствие этого графики  $\nu$ , не имеющие монотонного характера, не могут служить для оценки уровней оруденения, поскольку в этом случае конкретному значению  $\nu$  будут отвечать два или несколько различных горизонтов рудной зоны. Для отыскания монотонных показателей зональности требуется рассмотрение величин

отношений между произведениями содержаний двух, трех и большего числа рудных элементов, т.е. показателей второго (II), третьего (III) и более высоких порядков. Решение этой задачи возможно только с применением ЭВМ по специальным программам [37].

Наиболее современной, отвечающей запросам практики, является программа „Ню-2“, составленная В.А. Николаевым. Она предназначена для исследования геохимической зональности рудных месторождений путем выявления рядов зонального отложения элементов, автоматического отыскания общих монотонных и (или) условно-монотонных геохимических показателей зональности  $\mathcal{U}$ , вычисления их значений и построения графиков изменения этих показателей по опробованным уровням, а также анализа их структуры на основе подсчета встречаемости химических элементов в монотонно изменяющихся показателях. При исследовании эндогенной зональности хорошо разведанных (эталонных) месторождений на поэлементных картах изолиний содержаний главных металлов выбираются сечения (уровни) по возможности вдоль всей рудной зоны в интервале надрудный ореол — руда — подрудный ореол. Расстояние между горизонтами обычно составляет 50—100 м. В пределах каждого сечения подсчитываются линейные продуктивности  $M$  или средние надфоновые содержания  $C_x - C_f$  рудных элементов. Опробованных уровней может быть три и больше; с увеличением их числа повышается надежность выявляемых геохимических показателей  $\mathcal{U}$ .

Последовательность отложения химических элементов вдоль исследуемого направления (например, по вертикали) по программе „Ню-2“ определяется по графикам парных отношений между их продуктивностями (или содержаниями). Если величина такого отношения монотонно убывает с глубиной, то рудный элемент, входящий в числитель дроби, отлагается выше элемента, расположенного в знаменателе, при возрастающем виде графика элемент числителя отлагался ниже знаменателя. При немонотонном характере графиков парных отношений между содержаниями критерием убывания или возрастания величин геохимических показателей служит положение их „центров тяжести“ [37]. Результаты автоматизированного рассмотрения всех графиков парных отношений отражаются в таблице, в последнем столбце которой приведены осредненные значения „центров тяжести“ для каждого элемента. Ранжированные значения величин в порядке их убывания характеризуют зональный ряд отложения рудных элементов в направлении снизу вверх. Мерой сходства частных рядов зонального отложения нескольких объектов являются величины коэффициентов ранговой корреляции между ними. По сумме мест в частных рядах выводится общий ряд зонального отложения рудных элементов.

Число выявляемых монотонных геохимических показателей, выдаваемых на АЦПУ, зависит от числа рассматриваемых химических элементов. При их малом числе общее число отношений между содержаниями

ми рудных элементов мало и монотонные отношения первых порядков могут не обнаруживаться. Если набор исследуемых элементов значителен (порядка 12—14), то число различных отношений между ними  $N$  быстро растет и может достигать для показателей III порядка десятков тысяч. В этом случае при малом числе опробованных уровней возможно появление геохимических показателей, изменяющихся случайным монотонным образом и не имеющих геохимического смысла. При беспорядочном (случайном) характере входных данных вероятность появления случайных монотонных отношений между элементами для одного разреза определяется зависимостью  $P = 2/f!$ , где  $f!$  — факториал числа уровней.

В этом случае возможное число случайных монотонных показателей  $N_c$  характеризуется величиной  $N \cdot P$ . Надежность выбора геохимических показателей зональности во многом зависит от общего числа выявленных показателей  $N_a$ . Закономерность появления неслучайных монотонно изменяющихся геохимических показателей определяется из условия  $N_a > N_c$ , где  $N_c$  — число случайных монотонных показателей, оцениваемых на 5 %-ном доверительном пределе по величине  $N \cdot P$  с помощью специальной номограммы (рис. 32).

Увеличение надежности выявляемых монотонных показателей может достигаться путем привлечения к исследованиям большого числа разведочных профилей одного или нескольких генетически однотипных месторождений. Вероятность  $P_k$  появления случайных  $\nu$ , общих для нескольких профилей, прогрессивно снижается и в этом случае определяется по формуле  $P_k = 2 / (\prod_{i=1}^m f_i!)$ , где  $\prod_{i=1}^m f_i!$  — произведение факториалов числа опробованных уровней на каждом из объектов.

В практике геохимических поисков исследование зональности обычно проводится при числе химических элементов от 4 до 12, редко больше; наиболее употребительны композиции из двух-трех объектов (профилей). Число уровней (сечений) на каждом объекте от 4 до 8. Если исследуется меньшее число уровней, то возможно появление нескольких случайных монотонных показателей. Это не означает, что выявленные показатели не будут характеризовать зональность, хотя их устойчивость требует дополнительного подтверждения на соседних разведочных профилях.

Отсутствие монотонных показателей зональности может быть связано с пологим склонением рудной залежи, с наличием кулисообразных рудных тел, „центриклинальной“ зональностью, многостадийностью оруденения и многими другими причинами. В других случаях при отсутствии монотонных показателей I—II порядков рекомендуется переходить к рассмотрению геохимических показателей зональности III—IV порядков. Это определяется тем, что произведение двух или нескольких монотонных показателей первого порядка способно образовать показатель, монотонно изменяющийся с глубиной.

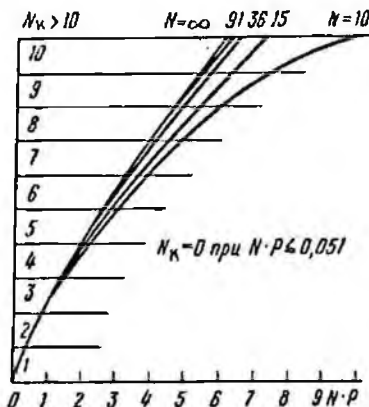


Рис. 32. Номограмма для оценки критического значения числа монотонных показателей  $N_k$  (95 %-ный доверительный предел) по величине произведения  $N \cdot P$ . По Ю.В. Шеврову

и третьего порядков, монотонно изменяющихся с глубиной для всех или для части объектов, в зависимости от пожеланий пользователя. Поскольку в реальных условиях не исключается одновременное существование по разным разведочным профилям прямой и обратной зональности, программой „Ню-2” предусмотрена выдача на печать общих монотонных геохимических показателей  $\nu$  независимо от их вида (убывающие или возрастающие). Из числа выявленных геохимических показателей зональности выбираются такие, которые характеризуются максимальным размахом  $R = \nu_{\max} - \nu_{\min}$  и одинаковым видом.

Геохимические показатели, характеризующие зональность эталонных месторождений, служат для оценки (таксирования) отдельных рудных пересечений того же генетического типа в метрике эталона. Это могут быть рудные интервалы, выявляемые при опробовании керна поисковых скважин, подземных горных выработок и канав, или вторичные ореолы рассеяния рудопроявлений, обнаруженные поисковыми съемками. В последнем случае задача таксирования состоит в оценке уровня их эрозионного среза ( $z$ ). Оценку  $z$  необходимо вести по 8–10 разным  $\nu$  для получения средней величины  $\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$ , где  $n$  – число  $\nu$ , и определения его доверительного предела  $\pm s/\sqrt{n}$ . Величину стандартного отклонения  $s$  оценивают через размах значений  $z_i$  и табличного множителя  $\beta_n$ , согласно зависимости [39]:  $s = \beta_n (z_{\max} - z_{\min})$ .

Определение  $z$  ведется по графикам  $\nu = f(z)$  в метрах либо в услов-

Обработка геохимических данных по программе „Ню-2” ведется по схеме, включающей в себя четыре цикла. Нулевой цикл включает пообъектное выплвление рядов зонального отложения элементов (частные ряды) по средним „центрам тяжести” графиков парных отношений между их содержаниями в метрике уровней и вычисление матриц этих отношений с построением соответствующих графиков. В конце цикла печатаются обобщенный для всех объектов зональный ряд отложения элементов и ранговые коэффициенты корреляции частных рядов между собой. Остальные три цикла предусматривают выявление, построение графиков и анализ геохимических показателей зональности соответственно первого, второго

ной метрике, при которой полная вертикальная протяженность рудного тела в контуре первичного ореола основного ценного элемента принимается за 1,0. Верхняя выклинка ореола обозначается  $z = 0,0$ , начало промышленного оруденения —  $z = 0,2$ , его середина —  $z = 0,5$ , окончание —  $z = 0,8$  и нижняя выклинка подрудного ореола —  $z = 1,0$ . Исходя из практического опыта, сходимость оценок  $z$  можно считать удовлетворительной при значениях  $\pm s/\sqrt{n} \leq 0,1$  в условной метрике или в линейной мере  $\pm 50-60$  м. Величина доверительного предела  $\pm s/\sqrt{n}$  позволяет по критерию Стьюдента оценивать статистическую значимость различий между оценками  $\bar{z}$  нескольких уровней оруденения. Важное значение величина доверительного предела имеет для контроля правильности отнесения оцениваемых рудопоявлений к данному генетическому типу (или подтипу), для которого были найдены опорные графики  $\nu = f(z)$ . Следует ожидать, что резкое возрастание величины  $\pm s/\sqrt{n}$  будет свидетельствовать об имеющихся генетических различиях между эталонным месторождением и оцениваемым объектом. Такой же результат может быть получен при неудовлетворительном качестве и неполноте геохимического опробования или низкой точности спектрального анализа геохимических проб. Ниже приводятся конкретные примеры результатов обработки данных погоризонтного опробования месторождений по программе „Ню-2“.

Успешное решение задачи изучения эндогенной зональности рудных месторождений во многом определяется надежностью полевых и лабораторных исследований, выполняемых согласно инструктивным требованиям [19]. При изучении эндогенной зональности колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая и Джунгарского Алатау проводился массовый отбор проб из дубликатов геологоразведочных проб и керн разведочных скважин, подземных горных выработок и канав. На каждом месторождении выбирались от 2 до 7 наиболее представительных геологических разрезов, хорошо вскрытых бурением и детально опробованных. Длина интервала, с которого отбирается пунктирная проба во вмещающих неизменных породах, составляла 5—10 м; в пределах рудной зоны и гидротермально измененных пород ее длина уменьшалась до 1—2 м. Пробы составлялись из 8—10 отбираемых через равное расстояние равновесных сколков. Масса пробы равнялась 200—250 г. Из дубликатов геологоразведочных проб отбирались навески около 50 г. Основным видом анализа литохимических проб был эмиссионный спектральный анализ на 40 химических элементов и ртуть, определяемую с помощью атомно-абсорбционного фотометра РАФ-1. Средняя относительная случайная ошибка по результатам первичных и повторно контрольных измерений для эмиссионного спектрального анализа не превышала  $1,4^{\pm 1}$ ; атомно-абсорбционного — в среднем составляла  $1,3^{\pm 1}$ .

Характер зонального распределения химических элементов в рудной зоне зависит от направления миграции рудных компонентов в процессе

формирования руд и первичных ореолов. Принято рассматривать два основных способа образования ореола — путем инфильтрации по простирающую и восстанию рудной зоны и в результате диффузии из рудной зоны в боковые рудовмещающие породы. Вследствие различных скоростей перемещения (подвижности) ионов в водных растворах распределение элементов в рудах и первичных ореолах должно быть закономерно зональное [35]. Х.Т. Моррис и Т.С. Ловеринг показали, что убывание содержания свинца и цинка в первичных ореолах полиметаллических месторождений округа Тинтик (США) подчиняется экспоненциальной зависимости, а графики содержаний этих элементов, построенные в полулогарифмическом масштабе, близки к прямым линиям. В таких случаях распределение содержаний рудных элементов в первичных ореолах гидротермальных месторождений определяется зависимостью [37]

$$C_x = C_0 e^{-\lambda x} + C_\phi, \quad (6)$$

где  $C_x$  — содержание элемента в точке  $x$ ;  $1/\lambda$  — показатель миграционной способности, характеризующий среднее удаление атомов химического элемента от граничной поверхности с содержанием  $C_0$ .

Зная миграционную способность элемента  $1/\lambda_z$  и принимая экспоненциальный закон изменения его содержаний, можно, согласно формуле (6), оценить ожидаемую глубину  $z_p$ , на которой  $C_z = C_p$ . Определение расстояния до уровня с промышленными содержаниями металла чаще всего необходимо при интерпретации надрудных ореолов крутопадающего оруденения с целью прогноза его на глубину. Для этого в полулогарифмическом масштабе в координатах  $\{ \lg(C_z - C_\phi); z \}$  строятся графики содержаний рудных компонентов, при которых величина  $1/\lambda$  будет пропорциональна котангенсу угла  $\omega$ , образованного осредняющей прямой с осью  $z$ :  $1/\lambda = K \operatorname{ctg} \omega$ , где  $K$  — показатель соотношения масштабов по осям координат. Аналогичным образом определяется и диффузионная подвижность рудных элементов вдоль оси  $x$ .

Анализ графиков содержаний элементов по восстанию рудных зон колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая позволил установить ряд вертикальной эндогенной подвижности элементов в инфильтрационном надрудном ореоле (в порядке возрастания):  $\text{Cd} - \text{Bi} - \text{Cu} - (\text{Zn}, \text{As}) - \text{Ag} - (\text{Hg}, \text{Pb})$ . Наименьшей величиной миграционной способности в этом ряду характеризуется кадмий ( $11,5 \pm 1,3 \text{ м}$ ), наибольшими величинами — ртуть ( $23,2 \pm 1,8 \text{ м}$ ) и свинец ( $23,3 \pm 1,4 \text{ м}$ ).

Оценка интервалов убогой минерализации и определения глубины до уровней с заданными промышленными содержаниями металлов может проводиться по номограмме, аналогичной приведенной на рис. 33. По радиусам откладываются содержания элементов в логарифмическом масштабе, нормированные по величинам миграционных способностей по восстанию рудных зон. В центре окружности располагается точка, отвечающая условному составу „средней рудной пробы“ колчеданно-

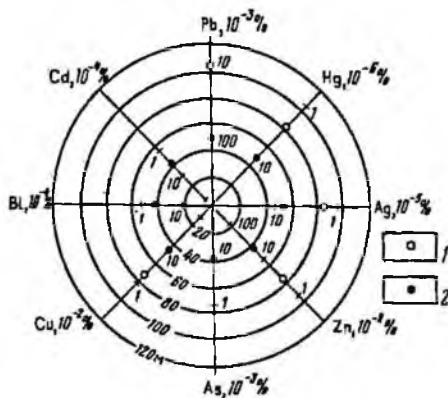


Рис. 33. Номограмма и пример определения глубины до рудного интервала по показателям инфильтрационной миграционной способности. Шубинское месторождение, профиль V.

1 и 2 — максимальные содержания рудных элементов соответственно по скважинам 18 и 43

полиметаллического месторождения Рудного Алтая. Приняты следующие содержания рудных элементов (в %): Pb 1; Zn 3; Cu 0,6; Ag 0,001; Hg 0,0003; Bi 0,005; Cd 0,02; As 0,1. Окружности вокруг центральной точки определяют расстояние по падению рудной зоны до горизонта с промышленными содержаниями рудных компонентов. На рис. 33 рассмотрен пример определения глубины заложения скважины с целью вскрытия промышленных интервалов оруденения на Шубинском месторождении. Оценка проводилась по двум скважинам разведочного профиля. Скважиной 18 встречен первичный ореол с максимальным содержанием свинца 0,01 % на глубине 128 м от поверхности по падению рудной зоны. Скважина 43 подсекла тот же ореол ( $C_{\max} = 0,1$  %) на глубине 176 м. По номограмме расстояние до рудного тела по скважине 18 составляет  $85,2 \pm 5,4$  м (по пяти рудным элементам), по скважине 43 —  $46,5 \pm 1,7$  м (по восьми рудным элементам) или в целом от поверхности соответственно на глубине  $213,2 \pm 5,4$  и  $222,5 \pm 1,7$  м. Среднее из двух оценок —  $218 \pm 2,3$  м. Фактически промышленное оруденение было установлено на глубине 230 м.

Наличие результатов геохимического опробования на трех уровнях надрудного ореола повышает надежность оценки  $z_p$ , однако, как всякая экстраполяция, она имеет ограниченную достоверность. Таким же графическим способом, путем продления прямой  $z = f(\lg C_2)$  в сторону убывающих содержаний металла, можно оценить эффективную протяженность уничтоженного эрозией интервала надрудного ореола. Такая реконструкция целесообразна при сравнительно большом числе уровней,



опробованных в интервале надрудного ореола, и удовлетворительном размещении эмпирических точек на осредняющей прямой.

Первичные ореолы, формирование которых определяется инфильтрационной или диффузионной подвижностью рудных элементов, вследствие различий термодинамических условий в надрудном, околорудном или подрудном пространстве будут характеризоваться различными эффективными размерами. Вместе с тем значения миграционной способности для адекватных сечений конкретного типа месторождений оказываются близкими. Протяженность первичных ореолов по восстанию и вкрест простираения рудных зон во многом определяется геолого-структурными особенностями месторождений и наличием зон непромышленного оруденения, приуроченных к тектоническим и литологическим неоднородностям во вмещающих породах. Это приводит в большинстве случаев к отступлению реальных графиков  $C_x = f(x)$  от теоретической зависимости, а протяженность первичных ореолов, как правило, бывает больше, чем определяемая с помощью показателей миграционной способности. Особенно велика роль разрывных нарушений, при которых первичные ореолы могут распространяться на значительное расстояние. По данным С.В. Григоряна, над скарновым свинцово-цинковым месторождением Николаевское в Приморье протяженность ореола свинца составляет 850 м. Первичный ореол приурочен к крутопадающим разрывным нарушениям, проходящим через экранирующий рудную залежь покров вулканитов. Многообразие факторов рудообразования может приводить к формированию первичных надрудных, в том числе оторванных, ореолов, отличающихся по форме, строению, в отдельных случаях—составу, от основного рудного тела. Так, надрудные ореолы на расстоянии до нескольких сотен метров от верхней кромки полиметаллических руд формируют ртуть, иногда йод [46, 47].

### ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Особенностям геохимической зональности полиметаллических месторождений различных формаций посвящено большое число публикаций [3, 7, 8, 10, 46]. Изучением первичных ореолов и геохимической зональности полиметаллических месторождений на Рудном Алтае занимались Г.И. Россман, А.И. Карцов, А.А. Головин, В.Д. Баранов и др.; в Центральном и Южном Казахстане — А.С. Малахов, М.К. Муканов, В.Ф. Митрофанский; в Средней Азии — С.В. Григорян, Г.Э. Федотова и др.; на Северном Кавказе — Н.Н. Трофимов, А.И. Рычков; в Приморье — А.Ф. Миронюк, В.И. Сафронов; в Восточном Забайкалье — В.В. Поликарпочкин, Б.П. Санин и др. Исследованиям зональности полиметаллических месторождений Рудного Алтая, Джунгарского Алатау и Приморья более 12 лет посвятил автор.

Ниже рассматриваются результаты геохимического изучения первичных ореолов и зональности полиметаллических месторождений в различных районах СССР.

#### Колчеданно-полиметаллические месторождения

Особенности первичных ореолов и зональность колчеданно-полиметаллического оруденения рассматриваются на примере месторождений Рудного Алтая и Джунгарского Алатау.

На Рудном Алтае известно семь рудных районов. Исследования первичных ореолов и эндогенной зональности оруденения проводились в Зырянском и Лениногорском районах на хорошо разведанных Зырянском, Снегиревском, 2-м Греховском, Богатыревском, Тишинском, Новолениногорском, Гусялковском, Стрежанском и Шубинском месторождениях.

Зырянский рудный район, включающий около 20 полиметаллических месторождений, приурочен к Ревнюшинской горст-антиклинальной структуре, сложенной осадочно-вулканогенными отложениями девона. По П.С. Ревякину и В.С. Кузбному, район располагается в узле пересечения субширотного разлома первого порядка с системой субмеридиональных разломов в области Рудно-Алтайского поднятия базальтового слоя.

Ревнюшинская структура имеет двухъярусное строение. Нижний ярус представлен интенсивно метаморфизованной песчано-алевролитовой толщей предположительно нижнего девона. Верхний ярус включает осадочно-вулканогенные отложения средне-верхнедевонского возраста, расчлененные на три свиты: ревнюшинскую ( $D_2 \text{ erv}$ ), масляную ( $D_{2e-gv_1ms}$ ) и хамирскую ( $D_3 \text{ chr}$ ). Среднедевонские осадочно-вулканогенные отложения насыщены порфиоровыми образованиями, которые образуют большое количество обычно субогласных тел различных размеров. Основные полиметаллические месторождения ассоциируют с поздними порфирами, а многочисленные более мелкие объекты — с комплексом ранних добатолитовых порфиоров; те и другие являются производными остаточных магматических очагов девонского вулканизма [31].

Основные рудные поля района (Зырянское, Греховское, Богатыревско-Осочихинское и Малеевско-Путинцевское) расположены в одноименных антиклинальных складках второго порядка, осложненных крупными разрывными нарушениями II—III порядков. Рудные тела локализируются в гидротермально измененных породах на участках, благоприятных для рудоотложения верхов ревнюшинской и отчасти низов маслянской свит.

Рудное поле Зырянского месторождения тяготеет к ядерной части антиклинальной складки близширотного простирания, сложенной кварцсерицитовыми сланцами ревнюшинской свиты. Антиклиналь имеет асим-

метричное строение с пологим падением южного крыла и крутопадающим северным. На месторождении выделяют пять промышленных зон и ряд залежей. Промышленные зоны в западной части месторождения сходятся, что обусловлено внутренним строением погружающейся на запад антиклинали и связанными с ней зонами расщепления и трещиноватости.

2-е Греховское и Снегиревское месторождения, расположенные в пределах Греховского рудного поля, приурочены к южному замыканию Ревнюшинской горст-антиклинали. На участке рудного поля она представляет собой складку сундучной формы, осложненную многочисленными складками более высоких порядков. Они имеют субмеридиональное либо северо-западное простирание с общим погружением осей к югу.

Богатыревское месторождение приурочено к одноименной зоне расщепления в восточном крыле Ревнюшинского антиклинория. По структурным особенностям на месторождении выделяются Северо-Западный и Юго-Восточный участки. На первом рудные тела образуют самостоятельную рудную зону, вытянутую в северо-западном направлении. Для второго участка характерно вкрапленное оруденение без четко выраженных границ рудных тел.

Минеральный состав руд месторождений разнообразен. По данным Б.И. Вейц, важнейшими рудообразующими минералами являются галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, арсенопирит, тетраэдрит, кварц, кальцит, анкерит, барит. Руды преимущественно свинцово-цинкового состава, сплошные и прожилково-вкрапленные, характеризуются относительно небольшим количеством пирита. Средние соотношения в рудах свинца, цинка и меди составляют для Зыряновского месторождения — 1:1,5:0,3; для Богатыревского — 1:0,5:0,03. В пределах 2-го Греховского и Снегиревского месторождений достаточно четко проявлена вертикальная минералогическая зональность, при которой свинцово-цинковые руды переходят в медно-цинковые, а затем в медные. Соотношение  $Pb:Zn:Cu$  для верхних горизонтов — 1:3:0,29, для нижних — соответственно 1:5,6:1,5. Для Снегиревского месторождения, по данным А.А. Шатобина, зональность такого же вида отмечается в поперечном сечении от висячего к лежащему боку рудных залежей.

По данным химического и спектрального анализов в рудах в аномальных содержаниях отмечаются сурьма, мышьяк, кадмий, висмут, ртуть, кобальт, молибден, теллур, таллий, галлий, селен, никель, ванадий, индий, германий, олово, хром, цирконий. Одни из них присутствуют в рудах в виде самостоятельных минералов, другие — в виде изоморфных включений в основные рудные минералы. Так, высокие содержания кадмия и германия устанавливаются в сфалерите, селена и теллура — в галените.

Морфология и строение рудных тел и их первичных ореолов определяются геолого-структурными позициями месторождений и рудоконтро-

лирующей ролью зон дробления и рассланцевания, которые обусловили линейно-вытянутую форму первичных ореолов и их значительную вертикальную протяженность. Условия залегания руд, их вещественный состав, характер оруденения и его масштаб находят отражение в распределении типоморфных элементов и эффективных размерах первичных ореолов. Наибольшей эффективной шириной первичных ореолов на изученных месторождениях характеризуются основные рудные компоненты — свинец, цинк, серебро, медь, а также молибден. В большинстве случаев из-за сближенного положения рудных тел оценку ширины первичных ореолов можно проводить только для всей рудной зоны в целом. В зависимости от суммарной мощности рудных тел ширина ореолов колеблется от 200 (Богатыревское) до 500 м (Зыряновское, 2-е Греховское). Первичные ореолы мышьяка, ртути, кадмия, висмута, бария по морфологическим особенностям повторяют ореолы свинца и цинка, хотя эффективные размеры значительно уступают им. Первичные ореолы стронция распределены равномерно по всей зоне гидротермально-измененных пород, а также фиксируются в зонах рассланцевания. Ореолы сурьмы, олова и кобальта слабоконтрастны, уступают по своим размерам ореолам всех рассмотренных выше элементов, а их ширина не превышает мощность рудных тел.

Первичные ореолы основных рудных элементов прослеживаются на глубину более 200 м от рудных тел и в большинстве случаев разведочными скважинами не околтурены. Надрудные первичные ореолы свинца, ртути, серебра, цинка, меди характеризуются высокой контрастностью, распространяясь над рудными телами на расстояние до 300 м и более (рис. 34).

Однотипность геолого-структурных условий, морфологии рудных зон, характера залегания руд и их вещественного состава находит отражение в распределении типоморфных элементов в рудах и первичных ореолах всех полиметаллических месторождений Зыряновского района, что подтверждается изучением их геохимической зональности. Сложное строение рудных полей, их насыщенность рудными телами различных размеров, кулисообразное расположение рудных залежей сильно осложняют общую картину геохимической зональности. Визуальное рассмотрение первичных ореолов позволяет отметить лишь слабую тенденцию к обогащению висмутом, молибденом, а также стронцием и кобальтом нижних горизонтов рудных зон, а верхних — ртутью, кадмием, серебром, сурьмой (см. рис. 34). Однако такая качественная характеристика распределения элементов, основанная на рассмотрении их абсолютных содержаний, недостаточна для решения поисково-оценочных задач. Наиболее четко вертикальная геохимическая зональность выявляется при ее исследовании с помощью ЭВМ.

При исследовании эндогенной геохимической зональности месторождений по программе „Ню-2” в качестве входных данных служили значе-

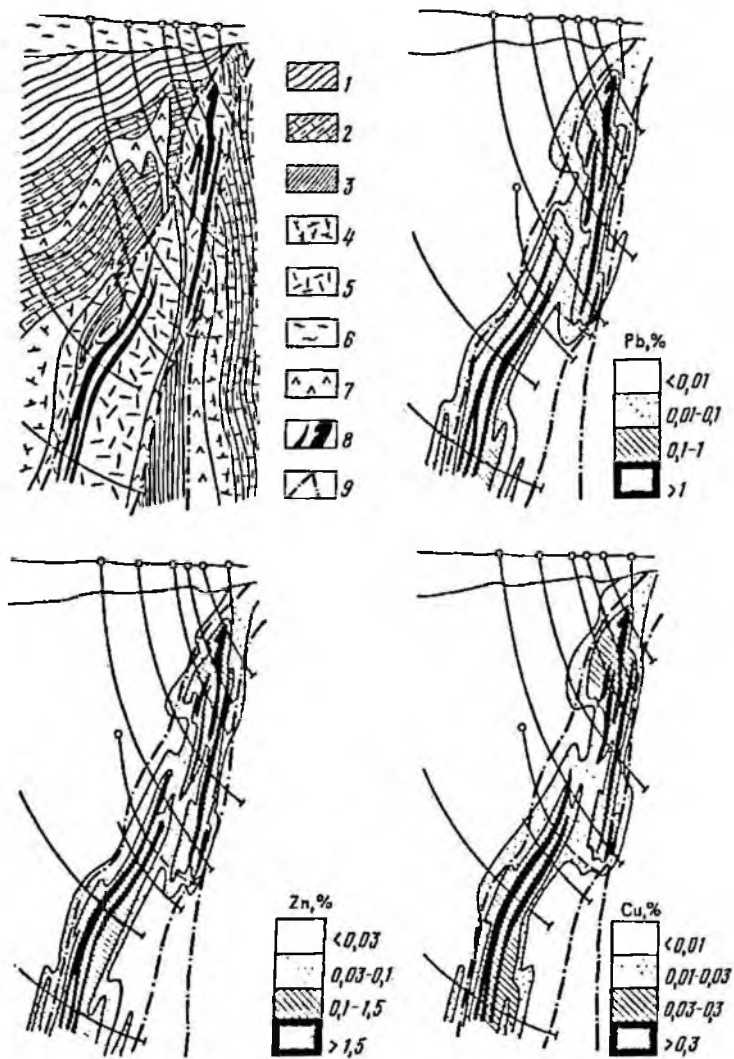
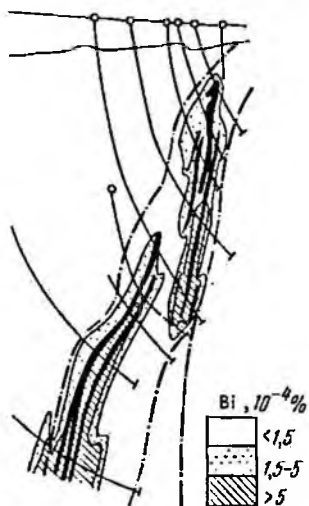
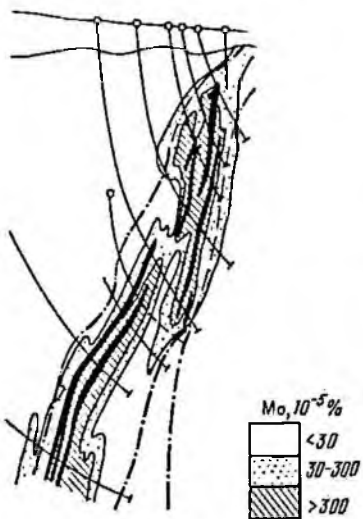
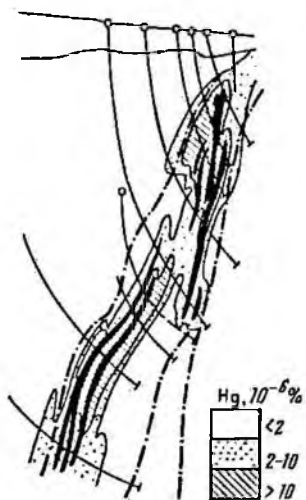
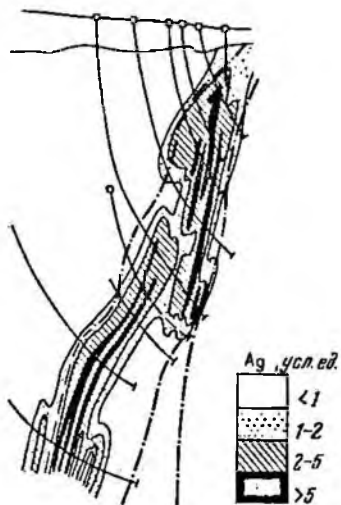


Рис. 34. Геологический разрез и распределения рудных элементов в поперечном  
 1 — углисто-глинистые сланцы, известняки, песчаники хамирской свиты ( $D_3chr$ );  
 ты, 3 — известковистые алеволиты, 4 — кварцевые порфиры и их туфы; 5 — туф-  
 6 — суглинки, 7 — порфириты; 8 — рудные тела; 9 — тектонические нарушения



профиле Зырянковского месторождения:

2-4 — маслянская свита ( $D_{2e} - gv_1ms$ ); 2 — известково-кремнистые алеаролиты, песчаники, известковистые алеаролиты ревнюшинской свиты ( $D_{2e} - gv_1rv$ );

ния линейных продуктивностей по рассматриваемым уровням. Число уровней в разрезах составляло от 3 до 6, в композицию включалось одновременно до 18 уровней. Для надежного выбора монотонных геохимических показателей исследование проводилось на нескольких профилях. Всего изучено пять разрезов на Зырянском, три на Богатыревском и четыре на 2-м Греховском и Снегиревском месторождениях. Поскольку 2-е Греховское и Снегиревское месторождения расположены в одном рудном поле, обработка геохимических данных по ним проводилась совместно.

В результате анализа центров тяжести графиков парных отношений между продуктивностями химических элементов по профилям получены частные ряды вертикальной зональности отложения для каждого месторождения (снизу вверх):

1) Зырянское —

Bi — Co — Sr — Sn — (Zn, Mo) — Ba — (Ag, Hg) — As — (Cd, Cu) — Pb — Sb;

2) 2-е Греховское и Снегиревское —

Cu — Bi — Co — Mo — (Sn, Sr) — Zn — (Ag, Ba) — Cd — As — Pb — Hg — Sb;

3) Богатыревское —

Sr — Bi — Mo — (Sn, Co) — Cu — As — Ag — Ba — Pb — Cd — Zn — (Sb, Hg).

Полученные ряды хорошо коррелируют между собой. Коэффициенты ранговой корреляции между рядами 1 и 2 составляют 0,62; 1 и 3 — 0,66; 2 и 3 — 0,80 при  $r_{5\%} = 0,53$ . Это позволило по сумме мест, занимаемых элементами в частных рядах, составить обобщенный ряд вертикальной зональности для месторождений Зырянского района:

Bi — (Co, Sr) — (Mo, Sn) — Cu — Zn — (Ag, Ba) — As — Cd — (Pb, Hg) — Sb.

Для каждого месторождения выявлены монотонные убывающие показатели зональности второго порядка, имеющие большой размах по падению рудных тел. Вид геохимических показателей отражает положение элементов в зональной колонке месторождений — в числителе располагаются элементы, тяготеющие к верхним горизонтам рудных тел, в знаменателе — к нижним (табл. 9). Пригодность полученных показателей зональности для оценки рудных пересечений проверялась путем таксации уровней оруденения по смежным профилям, не входившим ранее в исследование зональности. Результаты таксации показали, что выбранные показатели  $\nu$  однозначно идентифицируют рудные пересечения по их гипсометрическому положению в разрезе каждого из месторождений. При этом доверительный интервал оценок не превышает  $\pm 0,3$  „уровня“, что в линейной мере отвечает  $\pm 20$ —30 м.

Наглядную характеристику эндогенной зональности месторождений можно получить при рассмотрении изолиний геохимических показателей  $\nu$  в плоскости рудных зон. Возрастание к поверхности величины моно-

Таблица 9

Результаты исследования зональности месторождений Зырянского района

Месторождение	Исследованный интервал, м	Число $\nu$ II порядка	$N_K$	Вид геохимических показателей $\nu$	Максимальный размах показателей II порядка
Зырянское	850	14	0	$\frac{Pb, Zn, Sb, Cd}{Bi, Co, Sn}$ (Cu)	$5,4 \cdot 10^6$
Снегиревское и 2-е Греховское	880	15	3	$\frac{Pb, Ba, Hg, Cd, As}{Bi, Co, Sn, Cu, Mo}$	$2,3 \cdot 10^4$
Богатыревское	520	12	2	$\frac{Pb, Zn, Ba, Hg, Cd, Ag}{Bi, Co, Cu, Sr}$	$2,4 \cdot 10^4$

тонных показателей зональности по геометрии рудного тела характеризует убывание условной „температуры“ рудообразования по мере продвижения от более „горячего“ ( $\nu_{min}$ ) к более „холодному“ ( $\nu_{max}$ ) участку рудной залежи. Под условной „температурой“ в данном случае понимается комплекс физико-химических условий, характеризующих режим рудоотложения. Это позволяет наметить направление движения гидротерм, определяемое нормалью к изолиниям  $\nu$ . На Богатыревском месторождении движение рудоносных растворов, очевидно, происходило по нормали к современной дневной поверхности. Эндогенная зональность по простирацию Богатыревского месторождения имеет примерно симметричный характер, при котором численные значения  $\nu$  от минимальных величин в центре растут к обоим более „холодным“ концам залежи (рис. 35). Для пластовых рудных тел рассмотрение геохимических показателей зональности в плоскости залежи во многих случаях позволяет определить направление ее склона. Пологое западное склонение рудной зоны отмечается на Зырянском месторождении (рис. 36), которое проявляется в закономерном увеличении значений геохимических показателей с востока на запад и погружений изолиний  $\nu$  в этом направлении.

Основная задача исследования зональности хорошо разведанных месторождений — разработка геохимических критериев для оценки рудопроявлений той же рудной формации, выявляемых при поисках. Надежность критериев обеспечивается одновременным изучением зональности ряда рудных объектов. Несмотря на некоторые различия в геологических и морфологических особенностях оруденения, месторождения Зырянского района принято рассматривать как генетически однотипные, что подтверждается близостью рядов вертикальной последовательности отложения рудных элементов и наличием у них общих показателей зональности (см. табл. 9). Это допускает единый подход ко всей группе объектов и построение формализованной модели изучаемого орудене-



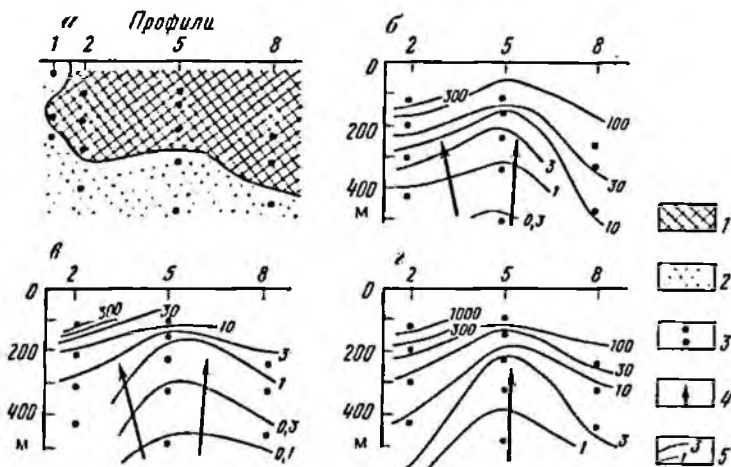


Рис. 35. Характер изменения геохимических показателей зональности в плоскости рудной зоны Богатыревского месторождения:

$a$  — сумма свинца и цинка;  $б - \nu = \frac{Hg \cdot Ba}{Cu \cdot Co} \cdot 10^{-3}$ ;  $в - \nu = \frac{Hg \cdot Ag}{Cu^2} \cdot 10^{-6}$ ;  
 $г - \nu = \frac{Hg \cdot Pb}{Cu^2} \cdot 10^{-4}$ . 1-2 — линейный продуктивности (в усл. м %): 1 —  $\geq 20$ ,

2 —  $< 20$ ; 3 — точки пересечения рудной зоны буровыми скважинами; 4 — предполагаемое направление движения гидротерм; 5 — изолинии геохимических показателей

ния. Задача может быть решена, если для данного формационного типа месторождений определены по крайней мере положения уровней, характеризующих верхний ( $z=0,2$ ) и нижний ( $z=0,8$ ) горизонты оруденения, и соответствующие им значения геохимических показателей зональности. В пределах одного разведочного профиля охватить весь интервал месторождения, от верхней до нижней выклинки, как правило, не удастся в силу различных причин (эрозийного среза или отработанности и недоступности для геохимического опробования верхних уровней оруденения или недоразведанности нижних горизонтов). Восполнить этот пробел нередко удастся за счет геохимических данных по нескольким разведочным профилям того же месторождения. В других случаях это возможно путем анализа данных по нескольким однотипным месторождениям и построения модели за счет совмещения графиков  $\nu$  в общих точках. Численные значения геохимических показателей зональности для одноименных горизонтов в условной метрике оруденения  $z=0,1; 0,2; 0,3; \dots$  должны совпадать для всех однотипных месторождений. В реальных условиях порой наблюдаются значительные отклонения от этой идеальной картины. Уменьшить погрешность оценок оруденения позво-

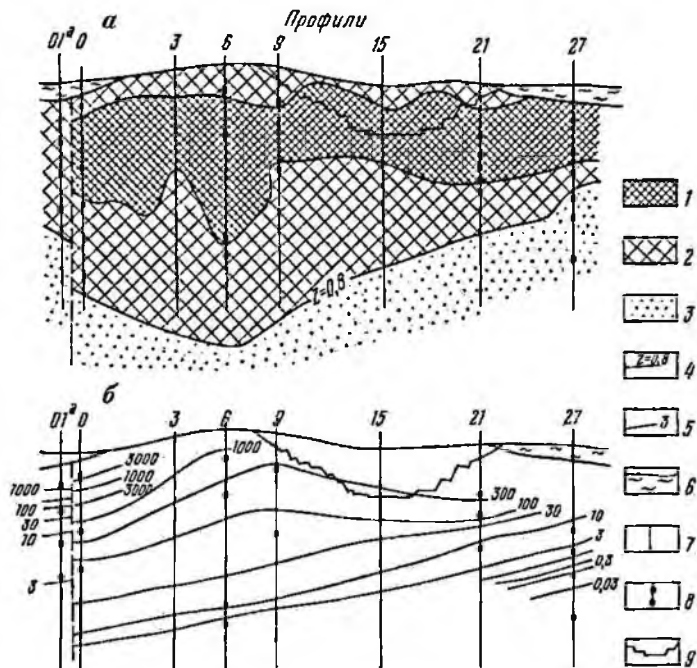


Рис. 36. Распределение суммы свинца и цинка в плоскости рудной зоны (а) и характер изменения показателя зональности  $\frac{Pb \cdot Cu}{Bi \cdot Co} \cdot 10^5$  (б) Зырянского месторождения:

1-3 — линейные продуктивности (в усл. м %): 1 —  $> 100$ , 2 — от 100 до 20, 3 —  $< 20$ ; 4 — нижняя выклинка рудной зоны (по геохимическим данным); 5 — изолинии показателя  $\nu$ ; 6 — суглинки; 7 — тектоническое нарушение; 8 — точки пересечения скважинами рудной зоны; 9 — контур карьера

ляет привлечение нескольких геохимических показателей. Определение верхнего и нижнего выклинивания оруденения проводится с помощью графиков линейных продуктивностей  $M_z = f(z)$  основного компонента при условии устойчивого убывания величины  $M_z$  по восстанию ( $z < 0,2$ ) или с глубиной ( $z > 0,8$ ) до значений  $0,03 M_p$ . Для построения формализованных моделей полиметаллических месторождений целесообразно рассмотреть графики суммарной линейной продуктивности свинца и цинка  $M_z = M_z(Pb) + M_z(Zn)$ , более устойчивой, чем продуктивность каждого элемента в отдельности.

Для рассматриваемых месторождений достаточно уверенно опреде-

7

ляется уровень 0,2 для Зырянковского и 0,8 для Богатыревского месторождений. Выбрав по одному хорошо изученному разрезу на каждом месторождении, провели их совместную обработку. Исследования по программе „Ню-2” по схеме: „объектов 4, min 4” с числом уровней на объектах 5+4+3+3, выявили 27 монотонных геохимических показателей, однонаправленно меняющихся во всех месторождениях. При этом критическое число случайных показателей второго порядка равняется единице. В табл. 10 приводятся рекомендуемые геохимические показатели и их граничные значения в различных интервалах рудных зон. Полученные и позволяют проводить оценку уровней пересечений рудных тел в метрике обобщенной модели месторождений Зырянковского района.

Лениногорский район Рудного Алтая приурочен к северо-западному замыканию Рудно-Алтайской и Белоубинско-Южно-Алтайской структурно-формационных зон, располагаясь в пределах Белоубинского, Быструшинского синклинория и Синюшинского антиклинория.

Все промышленные месторождения сосредоточены в пяти рудоносных структурах: пологозалегающей Лениногорской грабен-синклинали и крутопадающих Кедрово-Бутачихинской, Успено-Карелинской и ее северо-западной части — Снегирихинской, Белоубинской, Черноубинской [31]. Слагающие территорию отложения объединяются в раннегеосинклинальную базальт-липаритовую и позднегеосинклинальную песчано-сланцевую формации. Рудовмещающие разрезы базальт-липаритовой формации (липаритовые, липарит-дацитовые порфиры, туфы кислого состава, туффиты, туфоалевролиты) объединяются в лениногорскую, крюковскую, ильинскую и успенскую свиты среднего девона зйфельско-живетского яруса. Фактор концентрации оруденения — региональные экраны, сложенные осадочными отложениями крюковской и сокольных свит и белоубинской свиты песчано-сланцевой формации.

Основные рудные поля района — Тишинское, Лениногорское, Шубинское, Чекмаревское, Старковское, Стрежанское — фиксируются на участках пересечения глубинных разломов северо-западного и субширотного направлений и приурочены к синвулканическим структурам, осложненным складками высоких порядков, зонами расщепления и дробления.

Рудные тела преимущественно крутопадающие (реже пологие), обычно согласные, имеют линзо-, пластообразную и штокверковую форму. Они локализируются в гидротермально-метасоматически измененных породах, представленных микрокварцитами, кварц-серицит-хлоритовыми сланцами. Промышленные руды колчеданно-полиметаллического состава, сплошные и прожилково-вкрапленные, содержат значительные количества пирита. Помимо пирита главными минералами руд являются сфалерит, галенит, халькопирит, блеклая руда, кварц, серицит, хлорит, доломит. Подчиненную роль играют пирротин, арсенипирит, висмутин, кобальтин, барит, кальцит и другие минералы [32].

Таблица 10  
Геохимические показатели зональности полиметаллических месторождений Зырянского района

Интервал (в метрике z)	$\frac{\text{Hg} \cdot \text{Cd}}{\text{Cu} \cdot \text{Mo}}$	$\frac{\text{Sb} \cdot \text{Ba}}{\text{Co}^2}$	$\frac{\text{Ba} \cdot \text{Ag}}{\text{Cu} \cdot \text{Bi}}$	$\frac{\text{Ba} \cdot \text{Sb}}{\text{Bi} \cdot \text{Sn}}$	$\frac{\text{Sb} \cdot \text{Cd}}{\text{Bi} \cdot \text{Sn}}$	$\frac{\text{Pb} \cdot \text{Sb}}{\text{Bi} \cdot \text{Sn}}$	$\frac{\text{Zn} \cdot \text{Sb}}{\text{Bi} \cdot \text{Sn}}$	$\frac{\text{Zn} \cdot \text{Ba}}{\text{Cu} \cdot \text{Bi}}$
Надрудный (0,0—0,2)	$>4,2 \cdot 10^{-3}$	$>7,5 \cdot 10^4$	$>7,9 \cdot 10^1$	$>2,7 \cdot 10^4$	$>8,9 \cdot 10^2$	$1,8 \cdot 10^5$	$>3,0 \cdot 10^5$	$>1,2 \cdot 10^5$
Верхнерудный (0,2—0,4)	$4,2 \cdot 10^{-3}$ $3,9 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^4$ $2,4 \cdot 10^3$	$7,9 \cdot 10^1$ $8,5 \cdot 10^0$	$2,7 \cdot 10^4$ $9,3 \cdot 10^2$	$8,9 \cdot 10^2$ $3,9 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^5$ $7,1 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^5$ $1,6 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^5$ $9,3 \cdot 10^3$
Среднерудный (0,4—0,6)	$3,9 \cdot 10^{-4}$ $3,5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^3$ $7,4 \cdot 10^1$	$8,5 \cdot 10^0$ $9,2 \cdot 10^{-1}$	$9,3 \cdot 10^2$ $3,2 \cdot 10^1$	$3,9 \cdot 10^1$ $1,7$	$7,1 \cdot 10^3$ $2,8 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^3$ $8,1 \cdot 10^2$	$9,3 \cdot 10^3$ $7,2 \cdot 10^2$
Нижнерудный (0,6—0,8)	$3,5 \cdot 10^{-5}$ $3,2 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^1$ $2,3$	$9,2 \cdot 10^{-1}$ $1,0 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^1$ $1,1$	$1,7$ $7,5 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^2$ $1,1 \cdot 10^1$	$8,1 \cdot 10^2$ $4,2 \cdot 10^1$	$7,2 \cdot 10^2$ $5,6 \cdot 10^1$
Подрудный (0,8—1,0)	$<3,2 \cdot 10^{-6}$	$<2,3$	$<1,0 \cdot 10^{-1}$	$<1,1$	$<7,5 \cdot 10^{-2}$	$<1,1 \cdot 10^1$	$<4,2 \cdot 10^1$	$<5,6 \cdot 10^1$
Размах (R)	$>1300$	$>32000$	$>790$	$>24000$	$>12000$	$>16000$	$>7100$	$>2100$

Большинство исследователей придерживаются концепции о полигенности и полихронности оруденения Лениногорского района [6, 31]. В качестве основных генетических типов оруденения выделяют эксгалационно-осадочные руды раннего этапа и гидротермально-метасоматические более поздних этапов, соотношение между которыми на месторождениях различно.

Тишинское месторождение расположено в юго-западном крыле Сияштинского антиклинория в пределах Кедрово-Буташихинской рудоносной структуры [32]. С севера и юга рудное поле ограничено тектоническими нарушениями. В его центральной части, вблизи контакта пород успенской и ильинской свит, проходит субширотная зона Продольного разлома, являющегося основной рудоконтролирующей структурой месторождения. Главное рудное тело, круто падающее на север и склоняющееся на запад, сформировалось на пересечении продольного разлома с синвулканическими структурами (складками, флексурами, оперяющими зонами). Руды Тишинского месторождения по составу относятся к типу, переходному от полиметаллического к колчеданно-полиметаллическому; соотношение свинца, цинка и меди — 1:3,6:0,6. По соотношению рудных минералов выделяют серно-колчеданные, медно-колчеданные, колчеданно-полиметаллические и полиметаллические руды, с преобладанием последних [6].

Гусяковское месторождение расположено в северо-западном замыкании Белоубинского синклинория в пределах Чекмаревского рудного поля. Рудовмещающий разрез месторождения приурочен к северо-восточному крылу одноименной синклинали. Площадь месторождения сложена в основном вулканогенно-осадочными породами успенской свиты и осадочными отложениями белоубинской свиты. Общее простираие рудовмещающих структур — северо-западное, осложненное незначительными флексуорообразными поворотами, мелкой складчатостью и субширотными разломами. Оруденение на месторождении приурочено к зоне гидротермально измененных пород мощностью 200–300 м, расположенной в верхней части разреза успенской свиты. Рудоконтролирующими структурными элементами являются зоны рассланцевания и дробления вмещающих пород. Основные типы руд на месторождении представлены полиметаллическими (порядка 70 % от всего количества) и колчеданно-полиметаллическими разностями. Отношение Pb:Zn:Cu в полиметаллических рудах составляет в среднем 1:3,8:0,3.

В структурном отношении Шубинское месторождение приурочено к юго-западному крылу Листвяжной синклинали северо-западного простираия. В строении месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные отложения успенской свиты и перекрывающие их осадочные породы белоубинской свиты. Породы подвергались процессам регионального динамометаморфизма в связи со складкообразованием и формированием Северо-Восточной зоны смятия. Рудные тела в основном

согласны с вмещающими породами; они развиты главным образом на северо-западном и юго-восточном флангах месторождения. Центральная часть представлена забалансовыми рудами. Месторождение в целом и отдельные рудные тела обладают асимметричной поперечной зональностью. Преобладающими на месторождении являются колчеданно-медно-цинковые и серно-колчеданные руды, в меньшей степени — медно-колчеданные и полиметаллические [6]. Месторождение относится к колчеданно-полиметаллическому типу; отношение  $Pb:Zn:Cu$  составляет 1:4,9:2,2.

Стрежанское месторождение приурочено к юго-западному крылу одноименной антиклинали, расположенной в пределах центриклинального замыкания Белоубинского синклинория. Рудное поле месторождения осложнено зонами разломов, расщепления и трещиноватости северо-западного простирания, близкого к общему простиранию пород. В сочетании с элементами тектоно-вулканических структур и малоамплитудными поперечными разломами рудное поле приобретает сложное блоково-складчатое строение. Рудовмещающие разрезы представлены вулканогенно-осадочными отложениями успенской свиты, перекрываемыми отложениями белоубинской свиты. Указанные отложения прорваны субвулканическими телами липаритовых и дацитовых порфиров, входящих в состав базальт-липаритовой формации, а также комплексом даек диабазов позднедевонского — раннекаменноугольного возраста и телами гранитов и гранит-порфиров. На месторождении выделяют два этапа рудообразования — сингенетичный эксгальационно-осадочный и эпигенетичный гидротермально-метасоматический [6]. Основная доля руд (около 95 %) образовалась на втором этапе, во время двух его основных стадий: колчеданной и полиметаллической. Отношение  $Pb:Zn:Cu$  в среднем для месторождения составляет 1:7,8:2,6.

Распределение типоморфных элементов в пределах изученных месторождений строго подчиняется геолого-структурным позициям рудовмещающих зон. Первичные ореолы рудных элементов, как правило, не выходят за пределы зон гидротермально измененных пород. Эффективная ширина их колеблется от 100—150 м на Стрежанском и Шубинском месторождениях до 500—600 м — на Тишинском. На Шубинском месторождении отмечается резко асимметричное строение первичных ореолов, заключающееся в их широком развитии в лежачем боку рудной залежи и крайне слабом — в висячем. Предварительное рассмотрение характера распределения элементов по вертикали рудных зон позволяет отметить относительное обогащение ртутью, барием, серебром, иногда сурьмой верхних горизонтов оруденения, а висмутом и молибденом — нижних.

С целью получения общей характеристики эндогенной геохимической зональности месторождений Лениногорского района проведена совместная обработка геохимических данных по четырем хорошо разведанным профилям (по одному на месторождение). В результате не было выяв-

лено ни одного общего монотонного показателя зональности I и II порядков. Рассмотрение графиков изменения с глубиной парных отношений между продуктивностями элементов позволило установить, что на нижнем уровне Шубинского месторождения наблюдается резкое скачкообразное изменение направления показателей  $\nu$ . Ранее А.И. Карцовым и другими исследователями было показано, а позже подтверждено данными разведки, что нарушение монотонности геохимических показателей  $\nu$  связано с наличием на глубоких горизонтах северо-западного фланга Шубинского месторождения второго рудного эшелона. Учитывая это, была предложена композиция, в которой Шубинское месторождение представлено только тремя верхними горизонтами. Число уровней на Тишинском, Гусяковском и Стрежанском месторождениях в новой выборке соответственно составляло 4, 4, 4.

В результате обработки данных по программе „Ню-2“ по центрам тяжести графиков парных отношений между продуктивностями элементов определены частные ряды зональности месторождений Лениногорского района (снизу вверх):

1) Тишинское —

(Bi, Sn, Sr)—As—Co—(Ba, Hg)—Mo—(Zn, Cd, Ag)—(Cu, Pb, Sb);

2) Гусяковское —

Bi—Mo—(Co, Cu)—(Zn, Cd)—(Sn, Sr)—As—(Pb, Ba)—(Ag, Hg)—Sb;

3) Шубинское —

(Co, Sn, Mo, Sr)—(Bi, Cu)—(Zn, Pb, Cd)—(As, Ag, Hg)—Sb—Ba;

4) Стрежанское —

(Mo, Sr)—(Sn, Co)—Bi—(Pb, Cd)—Sb—Cu—(Ba, As)—(Zn, Ag)—Hg.

Положительные значимые корреляционные связи обнаружены между рядами 2 и 3 — 0,74; 2 и 4 — 0,54; 3 и 4 — 0,81 при  $r_{5\%} = 0,53$ . Ряд последовательного отложения рудных элементов Тишинского месторождения не обнаруживает значимых связей с другими рядами. Между тем наличие общих геохимических показателей для всех месторождений позволяет по сумме мест, занимаемых элементами, составить обобщенный ряд вертикальной эндогенной зональности месторождений Лениногорского района:

(Bi, Sr)—Mo—Co—Sn—Cd—Cu—As—Zn—Pb—Ba—Hg—Ag—Sb.

Было выявлено пять показателей зональности  $\nu$  ( $N_k = 1$ ), положение элементов в числителе и знаменателе которых отвечает следующему виду: Pb, Sb, Hg, Ag/Bi, Co, Sn, Mo.

Для получения надежных оценок интервалов оруденения, привлечение только пяти показателей  $\nu$  не всегда бывает достаточно. Для выявления

ния дополнительного числа  $\nu$  были совместно исследованы три объекта (Шубинское месторождение было исключено из рассмотрения). Повторная обработка геохимических данных (с большим числом уровней) выявила 12 монотонных убывающих геохимических показателей зональности II порядка ( $N_K = 0$ ), часть из которых приведена в табл. 11. Следует заметить, что исследование зональности полиметаллических месторождений Рудного Алтая, и в частности Лениногорского района, значительно затруднено. Выбор геохимических показателей, которые рекомендуются к использованию, ограничен слабым размахом величин  $\nu$ . Отсутствие монотонных показателей зональности с высокой контрастностью связано с целым рядом геологических причин, одной из которых является развитие кулисообразных рудных тел. Это приводит к тому, что в одну выборку попадают пробы, взятые на различных горизонтах рудных тел, и зональность ослабляется. Для преодоления этого целесообразно увеличить расстояние между изучаемыми уровнями до 200–250 м, а подсчет продуктивностей элементов вести по укрупненным блокам, включающим по 2–3 соседние скважины. Размах (контрастность) показателей  $\nu$  зависит также от масштаба коренного оруденения. Этот вопрос подробно рассмотрен в следующем разделе. Здесь отметим только, что по соотношениям тангенсов углов наклона графиков одноименных показателей  $\nu_z = f(z)$  к горизонту в рудных интервалах месторождений ( $0,2 \leq z \leq 0,8$ ) можно судить об их относительных запасах. Чем круче наклон графика (чем меньше размах), тем крупнее масштаб объекта, и наоборот.

Геохимические показатели  $\nu$ , сохраняя свою монотонность на всем протяжении рудных зон, отражают постепенное изменение условий рудообразования, заключающееся в закономерной смене по падению рудной зоны „низкотемпературных“ минеральных ассоциаций „высокотемпературными“. Отметим, что поскольку  $\nu$  представляет собой отношение между надфоновыми содержаниями рудных элементов, геологический смысл этот показатель имеет только в области развития руд и их первичных ореолов, за пределами которых в качестве показателя зональности величина  $\nu$  просто не существует. С помощью обрабатывающих программ, включенных в АИПС, могут быть построены геохимические карты показателей зональности. Анализ пространственных закономерностей изменения величин показателей  $\nu$  по этим картам способствует более глубокому познанию геолого-структурных особенностей месторождений и расширяет возможности геохимического прогноза. Так, отчетливая вертикальная геохимическая зональность Тишинского месторождения устанавливается даже при отсутствии минералогической зональности (рис. 37). Форма мультипликативных ореолов напоминает пламя свечи с самой высокой „температурой“ в центре и понижением ее к периферии в сторону висячего и лежачего боков.



Таблица 11

Показатели геохимической заанальности полиметаллических месторождений Лениногорского района

Месторождение, профиль	Глубина, м	$\frac{\text{Hg} \cdot \text{Ag}}{\text{Bi} \cdot \text{Sr}}$		$\frac{\text{Hg} \cdot \text{Pb}}{\text{Bi} \cdot \text{Co}}$		$\frac{\text{Ag} \cdot \text{Pb}}{\text{Bi} \cdot \text{Sr}}$		$\frac{\text{Ag} \cdot \text{Pb}}{\text{Bi} \cdot \text{Sr}}$		$\frac{\text{Pb} \cdot \text{Sb}}{\text{Mo} \cdot \text{Co}}$		$\frac{\text{Sb}^2}{\text{Sn} \cdot \text{Sr}}$		$\frac{\text{Sb}^1}{\text{Co} \cdot \text{Sr}}$	
		Тишинское, ПРО	140	$5,40 \cdot 10^{-3}$	7,83	$4,15 \cdot 10^3$	8,38	$4,88 \cdot 10^3$	$4,12 \cdot 10^3$	$7,87 \cdot 10^1$	2,07	$7,87 \cdot 10^1$	$5,08 \cdot 10^1$	$5,56 \cdot 10^{-1}$	$5,08 \cdot 10^1$
	280	$3,51 \cdot 10^{-3}$	7,31	$1,94 \cdot 10^3$	6,40	$3,68 \cdot 10^3$	$2,78 \cdot 10^3$	$5,08 \cdot 10^1$	$5,56 \cdot 10^{-1}$	$2,78 \cdot 10^3$	$2,36 \cdot 10^1$	$4,76 \cdot 10^{-1}$	$5,08 \cdot 10^1$	$4,76 \cdot 10^{-1}$	$5,56 \cdot 10^{-1}$
	530	$3,00 \cdot 10^{-3}$	2,44	$4,70 \cdot 10^2$	2,50	$7,51 \cdot 10^2$	$2,71 \cdot 10^3$	$2,36 \cdot 10^1$	$4,76 \cdot 10^{-1}$	$2,71 \cdot 10^3$	$1,62 \cdot 10^1$	$3,01 \cdot 10^{-1}$	$1,62 \cdot 10^1$	$3,01 \cdot 10^{-1}$	$3,01 \cdot 10^{-1}$
	730	$5,04 \cdot 10^{-4}$	1,09	$2,45 \cdot 10^2$	$4,98 \cdot 10^{-1}$	$2,26 \cdot 10^2$	$1,89 \cdot 10^3$	$1,62 \cdot 10^1$	$3,01 \cdot 10^{-1}$	$1,89 \cdot 10^3$	$1,61 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$
	930	$4,37 \cdot 10^{-4}$	$1,91 \cdot 10^{-1}$	7,79	$7,95 \cdot 10^{-3}$	2,29	7,24	7,24	$4,27 \cdot 10^{-4}$	7,24	$1,61 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{-2}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$	$4,27 \cdot 10^{-4}$
	$R = \nu_{\text{max}} : \nu_{\text{min}}$	12,3 (10,7)	41,1 (7,2)	533 (16,9)	1060 (16,8)	2130 (21,6)	569 (2,2)	4880 (4,9)	5270 (6,9)	4880 (4,9)	4880 (4,9)	5270 (6,9)	4880 (4,9)	5270 (6,9)	5270 (6,9)
Гусятковская, ПРО	70	$6,22 \cdot 10^{-2}$	$4,34 \cdot 10^{-2}$	$5,89 \cdot 10^3$	$1,19 \cdot 10^2$	$5,70 \cdot 10^4$	$6,53 \cdot 10^4$	$5,88 \cdot 10^2$	$5,35 \cdot 10^2$	$6,53 \cdot 10^4$	$3,15 \cdot 10^4$	$1,09 \cdot 10^2$	$5,88 \cdot 10^2$	$1,09 \cdot 10^2$	$1,09 \cdot 10^2$
	170	$2,36 \cdot 10^{-2}$	$3,52 \cdot 10^{-2}$	$2,91 \cdot 10^3$	$1,13 \cdot 10^2$	$4,01 \cdot 10^4$	$3,15 \cdot 10^4$	$2,10 \cdot 10^2$	$1,09 \cdot 10^2$	$3,15 \cdot 10^4$	$2,05 \cdot 10^4$	$1,04 \cdot 10^2$	$2,10 \cdot 10^2$	$1,04 \cdot 10^2$	$1,04 \cdot 10^2$
	300	$1,51 \cdot 10^{-2}$	$1,01 \cdot 10^{-2}$	$1,46 \cdot 10^3$	$6,27 \cdot 10^1$	$8,28 \cdot 10^3$	$2,05 \cdot 10^4$	$1,76 \cdot 10^2$	$1,04 \cdot 10^2$	$2,05 \cdot 10^4$	$5,75 \cdot 10^1$	$3,82 \cdot 10^1$	$1,76 \cdot 10^2$	$3,82 \cdot 10^1$	$3,82 \cdot 10^1$
	510	$3,74 \cdot 10^{-3}$	$9,24 \cdot 10^{-1}$	$5,67 \cdot 10^2$	9,36	$5,04 \cdot 10^3$	$1,43 \cdot 10^4$	$5,75 \cdot 10^1$	$3,82 \cdot 10^1$	$1,43 \cdot 10^4$	$5,21 \cdot 10^1$	$1,96 \cdot 10^1$	$5,75 \cdot 10^1$	$1,96 \cdot 10^1$	$1,96 \cdot 10^1$
	600	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$1,54 \cdot 10^{-1}$	$3,18 \cdot 10^2$	2,39	$2,14 \cdot 10^3$	$3,78 \cdot 10^3$	$5,21 \cdot 10^1$	$1,96 \cdot 10^1$	$3,78 \cdot 10^3$	$5,21 \cdot 10^1$	$1,96 \cdot 10^1$	$5,21 \cdot 10^1$	$1,96 \cdot 10^1$	$1,96 \cdot 10^1$
	R	32,0	28,2	18,5	49,9	26,7	17,3	11,3	27,3	17,3	11,3	27,3	11,3	27,3	27,3
Стрежанское, ПРО 5	120	$6,59 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-1}$	$7,60 \cdot 10^2$	4,93	$7,00 \cdot 10^2$	6,29	$2,51 \cdot 10^1$	5,71	6,29	$2,51 \cdot 10^1$	$9,43 \cdot 10^{-1}$	$2,51 \cdot 10^1$	$9,43 \cdot 10^{-1}$	$9,43 \cdot 10^{-1}$
	175	$4,85 \cdot 10^{-3}$	$7,65 \cdot 10^{-2}$	$9,64 \cdot 10^1$	$8,34 \cdot 10^{-1}$	$1,83 \cdot 10^2$	3,55	$4,63 \cdot 10^1$	5,71	3,55	$4,63 \cdot 10^1$	$1,61 \cdot 10^{-1}$	$4,63 \cdot 10^1$	$1,61 \cdot 10^{-1}$	$1,61 \cdot 10^{-1}$
	280	$9,49 \cdot 10^{-4}$	$9,32 \cdot 10^{-3}$	$1,21 \cdot 10^1$	$1,43 \cdot 10^{-1}$	$1,34 \cdot 10^1$	$7,69 \cdot 10^{-1}$	$8,13 \cdot 10^{-1}$	5,71	$7,69 \cdot 10^{-1}$	$8,13 \cdot 10^{-1}$	$1,61 \cdot 10^{-1}$	$8,13 \cdot 10^{-1}$	$1,61 \cdot 10^{-1}$	$1,61 \cdot 10^{-1}$
	440	$9,68 \cdot 10^{-5}$	$3,80 \cdot 10^{-3}$	6,92	$3,46 \cdot 10^{-2}$	9,88	$1,02 \cdot 10^{-1}$	$1,14 \cdot 10^{-1}$	5,71	$1,02 \cdot 10^{-1}$	$1,14 \cdot 10^{-1}$	$2,84 \cdot 10^{-2}$	$1,14 \cdot 10^{-1}$	$2,84 \cdot 10^{-2}$	$2,84 \cdot 10^{-2}$
	R	680	46,0	110	142	70,8	61,4	221	201	70,8	61,4	221	221	201	201

\*В скобках — размах  $\nu$  по рудному интервалу (глубина 140—730 м).

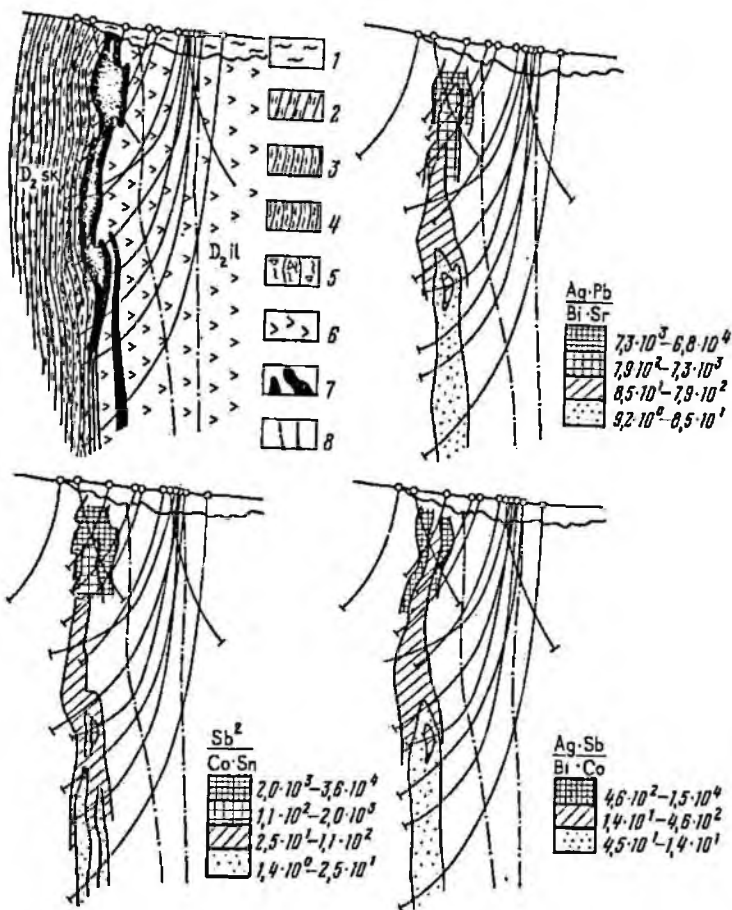


Рис. 37. Геологический разрез и изменение геохимических показателей зональности  $\mathcal{V}$  в разрезе рудного тела Тишинского месторождения, профиль 0:

1 — суглинки; 2 — аллюролиты и аллюропесчаники; 3 — глинистые сланцы; 4 — кварц-серцитовые сланцы; 5 — микрокварциты и серцитовые породы; 6 — порфириты; 7 — рудное тело; 8 — тектонические нарушения

При изучении вертикальной зональности Гусяковского месторождения по двум разведочным профилям получено два резко различных ряда зональности отложения. По профилю 0 (снизу вверх):

Bi—Mo—(Co, Cu)—(Zn, Cd)—(Sn, Sr)—Pb—(As, Ba)—(Ag, Hg)—Sb;

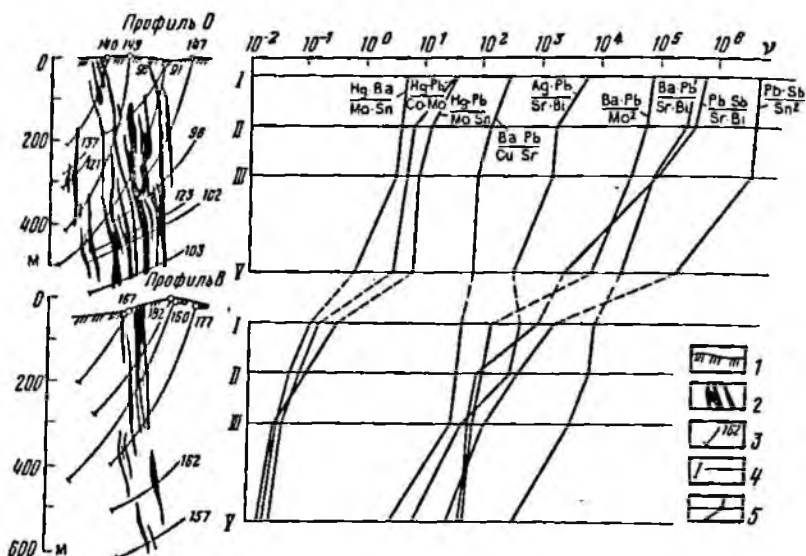


Рис. 38. Изменение геохимических показателей зональности по падению рудной зоны Гусляковского месторождения:

1 — элювио-делювий; 2 — рудные тела; 3 — разведочные скважины; 4 — горизонты рудной зоны; 5 — графики показателей  $y$

по профилю 8:

$Sr-Sn-Sb-Co-(Hg, Ba, Mo, As, Pb)-Zn-Ag-Cd-Bi-Cu$ .

Так как ряд на разрезе 0 более соответствует известным представлениям о зональности месторождений, он был принят за основной, а монотонные геохимические показатели по нему выбирались в качестве эталонных для оценки уровней оруденения. Всего по этому профилю получено 18 геохимических показателей, монотонно убывающих от первого уровня к пятому. Те же показатели, рассчитанные для профиля 8, при некотором неупорядоченном изменении также характеризуются общим убыванием. При этом значения показателей  $y$  оказались меньше самых низких на профиле 0. В первом приближении можно считать, что пятый горизонт разреза 0 соответствует „нулевому“ уровню профиля 8 (рис. 38). В целом на разрезе 0 оруденение, судя по характеру изменения геохимических показателей, разведано примерно до средних горизонтов и имеет значительные перспективы (порядка 500–600 м) для разведки на глубину.

„Обратная зональность“ на месторождении — не такое уж редкое явление [37]. В данном случае основную роль, вероятно, играет пологое

юго-восточное склонение рудной зоны, в результате которого по некоторым разведочным профилям зональность может приобретать обратный характер. В целом Гусляковское месторождение характеризуется прямой зональностью, что подтверждается тенденцией к убыванию с глубиной отношений продуктивностей „низкотемпературных“ элементов к „высокотемпературным“.

Важной задачей является изучение состава, строения первичных ореолов и эндогенной зональности слепых колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая в пологозалегающих рудоносных структурах.

Новолениногорское месторождение расположено в восточной части Лениногорского рудного поля в области сочленения одноименной грабен-синклинали с Успено-Карелинской зоной смятия. Оруденение приурочено к изометричным штокверкам липаритовых порфиров лениногорской свиты ( $D_2 \text{eln}$ ) и их брекчированным разновидностям под экраном известково-глинистых алевролитов крюковской свиты ( $D_2 \text{ekr}$ ). Рудные тела имеют слепое залегание (верхняя кромка оруденения находится на глубине 700 м) и не фиксируются с поверхности геофизическими и геохимическими методами. По морфологии, условиям залегания и минеральному составу выделяются два типа руд: стратиформные барит-полиметаллические и секущие штокверково-жилные полиметаллические [26]. Руды первого типа приурочены к известково-глинистым алевролитам и представлены агрегатом барита, галенита, сфалерита. Отношение  $\text{Pb}:\text{Zn}:\text{Cu}$  в них — 1:2,6:0,1. Второй, основной тип развит со стороны лежащего бока в виде кварц-сульфидных прожилков в липаритовых порфирах. Отношение  $\text{Pb}:\text{Zn}:\text{Cu}$  составляет 1:4,1:0,28 [26]. Для рудной зоны устанавливается прямая вертикальная зональность, которая выражается следующим рядом (снизу вверх):  $\text{Cu}-\text{Mo}-\text{Co}-\text{Zn}-\text{Pb}-\text{Ag}-\text{Ba}$ .

По величинам геохимических показателей зональности вида  $\text{Ba}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Pb}/\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Mo}$  устанавливаются пути движения гидротерм при формировании Буровской залежи Новолениногорского месторождения (рис. 39).

Первичные ореолы в пологопадающих структурах ряда других колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая подробно изучены А.А. Головиным. Эндогенные ореолы Золотушинского месторождения имеют ярко выраженное зональное строение, при котором к висящему боку тяготеют первичные ореолы свинца и серебра, а ореолы кобальта, молибдена, висмута — к лежащему боку рудной залежи. Вертикальная протяженность первичных ореолов свинца и серебра над рудным телом составляет 150–300 м и более. Геохимическая зональность месторождения характеризуется мультипликативным коэффициентом

$$\nu = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Ba} \cdot \text{Cd}}{\text{Cu} \cdot \text{Co} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Bi} \cdot \text{Sn}}$$
, изменяющимся от  $10^5$  в надрудной зоне до  $10^{-7}$  — в подрудной, т.е. в  $10^{12}$  раз. В пересчете на показатель первого порядка это составляет  $R = 251$ . Еще более контрастное изме-

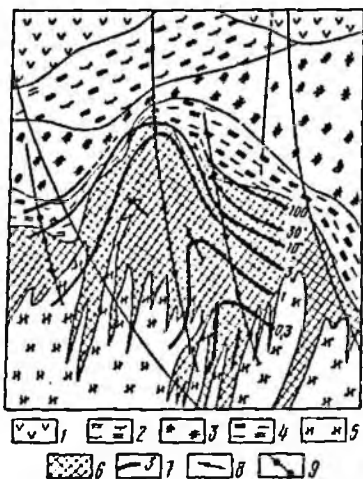


Рис. 39. Изменение геохимического показателя  $\nu = \frac{\text{Ag} \cdot \text{Pb}}{\text{Cu} \cdot \text{Zn}} \cdot 10^{-3}$  в вертикальном разрезе Буровской залежи Новоленингорского месторождения. (Геологическое строение по Г.С. Янаареву.)

1 — базальтовые, андезито-базальтовые порфириды; 2 — известковистые алевролиты  $D_{2eil}$ ; 3 — лавы и туфы основного и среднего состава  $D_{2eil}$ ; 4 — известково-глинистые алевролиты  $D_{2ekr}$ ; 5 — диоритовые порфиры  $D_{2ein}$ ; 6 — рудная залежь; 7 — изолинии  $\nu$ ; 8 — предполагаемые направления движения гидротерм; 9 — разведочные скважины

нение этого показателя отмечается для Степного месторождения — от  $10^9$  во фронтальных зонах до  $10^{-4}$  — в тыловых [3].

Условия формирования вулканогенных колчеданно-полиметаллических месторождений в целом благоприятны для поисков слепых объектов также по их петрохимическим ореолам, отвечающим зонам гидротермально измененных пород. По Р.В. Бойлу на колчеданно-полиметаллическом месторождении Ки-Анакон (Нью-Брансуик, Канада) в результате процесса калиевого метасоматоза (серицитизация, калишпатизация, алунификация), сопровождающего оруденение, по мере перехода от массивных вулканитов к вмещающим оруденение серицитовым сланцам наблюдается изменение отношения  $K_2O/Na_2O$  от 0,17 до 27,0. На миоценовых колчеданно-полиметаллических месторождениях Японии (район Хокуроку) одной из поисковых предпосылок слепого оруденения является закономерное увеличение содержаний  $K_2O$  и  $MgO$  в зонах околорудного метасоматоза в сторону рудных залежей и уменьшение содержаний  $Na_2O$  и  $CaO$  в том же направлении. В любом случае следует помнить, что ореолы петрогенных элементов служат косвенным поисковым признаком, поскольку их формирование часто происходит вне связи с оруденением. Прямое поисковое значение могут иметь только аномалии рудных элементов, допускающие предположение об их принадлежности к числу первичных надрудных ореолов слепых рудных тел.

Промышленные полиметаллические месторождения Джунгарского Алатау, объединенные в Коксу-Текелийский рудный район, приурочены к северному и южному крыльям Южно-Джунгарского антиклинория. В Коксу-Текелийском рудном районе известно пять промышленных колчеданно-полиметаллических месторождений — Текели, Западное Текели,

Яблоновое в Текелийской зоне; Центральное Сууктюбе и Коксу — в Коксу-Сууктюбинской. Для них характерна приуроченность к средней (карбонатной) части разреза текелийской свиты среднего рифея.

Месторождение Текели представляет собой сложную пластово-линзовобразную рудную залежь широтного простирания, располагающуюся согласно в горизонте переслаивающихся известняков, доломитов, углесто-глинистых сланцев ( $R_2tk$ ). Внутреннее строение залежи весьма сложное, обусловлено наличием безрудных и слабооруденелых прослоев, послойных и секущих даек. По В.Е. Флерову, рудная залежь, как и вмещающие породы, в верхней части имеет северное падение под углом  $50-60^\circ$ , ниже VIII горизонта угол падения залежи  $70-80^\circ$ . Руды и вмещающие породы интенсивно дислоцированы, смяты в мелкие складки, местами раздроблены и брекчированы. Характерно наличие согласных даек в висячем и лежащем боку рудной залежи. Промышленные руды колчеданно-полиметаллического состава — сплошные и прожилково-вкрапленные. Пиритовые руды имеют подчиненное значение и распространены преимущественно на флангах, в лежащем и висячем боку рудной залежи. С глубиной их количество уменьшается. Среднее отношение содержаний свинца к цинку и меди для месторождения составляет 1:2,1:0,02.

Первичные ореолы основных рудных элементов месторождения отражают вещественный состав, масштаб, геолого-структурные условия и морфологию рудной залежи. Наиболее широкие первичные ореолы образуют свинец, цинк, серебро, ртуть, сурьма, кадмий и таллий, эффективная ширина которых по рудной зоне в целом достигает 120–200 м. Места раздувов мощности рудных тел и первичных ореолов отмечаются максимальными содержаниями этих элементов.

В распределении рудных элементов в первичных ореолах наблюдается четкая асимметрия. Наибольшим распространением первичные ореолы пользуются в висячем боку, где они прослеживаются на расстояние от 20–40 (серебро, ртуть, сурьма, таллий) до 60–80 м (свинец, цинк), в лежащем боку — соответственно от 10–30 до 30–50 м. В распределении этих элементов по восстанию рудной залежи четкого разделения не наблюдается. Незначительное обогащение верхних горизонтов относительно нижних отмечается для серебра и сурьмы. Первичные ореолы мышьяка, молибдена и меди представлены узкими линейно-вытянутыми зонами. Во вмещающие породы ореолы мышьяка и молибдена распространяются на расстояния, не превышающее 10–30 м, а ореолы меди, как правило, не выходят за пределы рудных тел. Первичные ореолы других элементов (бария, стронция, кобальта и олова) приурочены непосредственно к рудной залежи, а также к многочисленным зонам тектонических нарушений.

Сложное строение рудной залежи месторождения Текели отражается в рядах зонального отложения рудных элементов, которые для отдель-

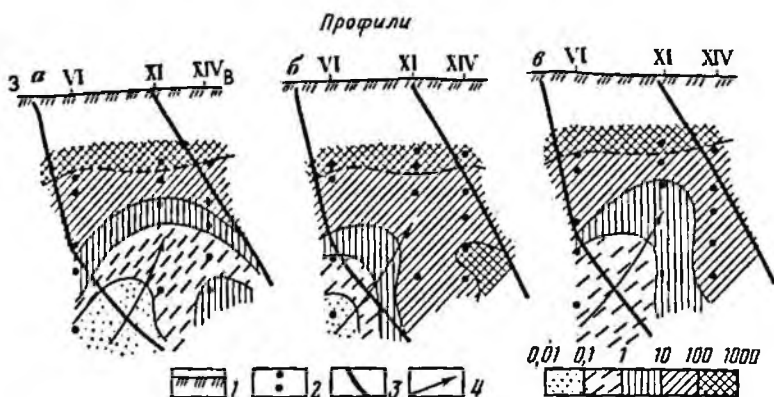


Рис. 40. Изолинии геохимических показателей  $\nu$  в продольной плоскости рудной зоны месторождения Текели:

$$a - \nu = \frac{Sb \cdot Ag}{Mn^2} \cdot 10^{-4}; \quad \sigma - \nu = \frac{Sb \cdot Tl}{Mo \cdot Cd}; \quad e - \nu = \frac{Sb \cdot Ag}{Cu \cdot Cd}$$

1 — элювио-делювий; 2 — точки пересечения плоскости зоны буровыми скважинами; 3 — граница рудной залежи по геохимическим данным; 4 — предполагаемое направление движения гидротерм

ных профилей характеризуются значительными различиями. Слабая значимая положительная корреляционная связь наблюдается между рядами отложения элементов по профилям VI и XI. Обобщенный ряд зонального отложения по ним может быть представлен (снизу вверх) в следующем виде:

Mo—Cu—(Mn, Cd)—As—Co—(Zn, Hg)—Pb—(Ag, Sb) — Tl.

Примечательно „низкое“ положение мышьяка и ртути и „высокое“ кобальта в ряду зональности. Это обусловлено наличием различных минералов-концентраторов этих элементов. Преобладающая минеральная форма мышьяка — арсенопирит, ассоциирующий в рудах с халькопиритом и другими минералами, характерными для глубоких горизонтов месторождения. Ртуть не образует собственных минералов, а входит в виде изоморфной примеси в сфалерит, на что указывает близкое положение ртути и цинка в ряду зональности. Распределение кобальта в рудах месторождения подчиняется распределению пирита. Убывание доли пиритовых руд с глубиной приводит к относительному обогащению этим элементом центральных горизонтов рудной залежи.

В.Ф. Митрофанским и другими исследователями [8] предложена модель концентрической зональности месторождений Текелийского рудного поля. От центра рудных залежей к их флангам отложение элементов характеризуется последовательностью:

Sb—Ag—Pb—F—Hg—Zn—Cd—Ge—Tl—Cu—As—Mn—Sn—Ba—Ga—Mo.

Практическое использование предлагаемых авторами показателей  $\nu$  сопряжено с неоднозначностью отнесения конкретного рудного пересечения к надрудным или подрудным интервалам месторождения. Для надежной оценки рудопроявлений необходимо пробурить минимум две скважины, пересекающие периферические части богатых рудных линз, с целью определения направления в сторону центральных частей рудного тела.

Исследование эндогенной геохимической зональности рудной зоны месторождения Текели по программе „Ню-2” позволило выявить три монотонных показателя II порядка и 32 — III-го, которые можно записать в

виде  $\frac{\text{Tl, Sb, Pb, Ag}}{\text{Cu, Mo, Mn, Co, Cd}}$  (Zn). Размах значений показателей III поряд-

ка достигает десятков миллионов раз. Особенность выявленных показателей — уменьшение размаха их величин с запада на восток. Это связано с „растяжением” зональной колонки рудной залежи в этом направлении и определяет ее восточное склонение. На рис. 40 приводятся изменения некоторых геохимических показателей в продольном разрезе рудной зоны. Величины всех показателей имеют тенденцию к уменьшению с глубиной. Увеличение значений показателей  $\nu$  на нижних уровнях профиля XIV свидетельствует о продолжении рудной залежи на глубину. Судя по закономерностям изменений  $\nu$  на профилях VI и XI, можно прогнозировать наличие кондиционных руд ниже разведанных горизонтов профиля XIV.

#### Стратиформные свинцово-цинковые месторождения

Эндогенная зональность стратиформных месторождений рассматривается на примере свинцово-цинковых месторождений хребта Каратау и Центрального Казахстана. Приводятся также данные по месторождениям Саурей (Полярный Урал) и Сумсар (Чаткальский хребет).

По морфогенетическим признакам среди свинцово-цинковых месторождений хребта Каратау принято выделять два промышленных типа: ачисайский и миргалимсайский. Первый представлен метасоматическими рудами, секущими карбонатные породы, второй — прожилково-вкрапленными рудами, приуроченными к постоянному литолого-стратиграфическому горизонту. По геохимическим спектрам оруденение хребта Каратау подразделяется на четыре типа, отвечающих месторождениям Миргалимсай, Карасай, Шалкия и рудопроявлению Карасу [7]. Первые три типа соответствуют промышленным месторождениям палеозойского возраста, четвертый — характеризует юноальпийское непромышленное оруденение. Рассмотрение геохимических особенностей зональности месторождений Каратау целесообразно провести по типам их геохимических спектров.



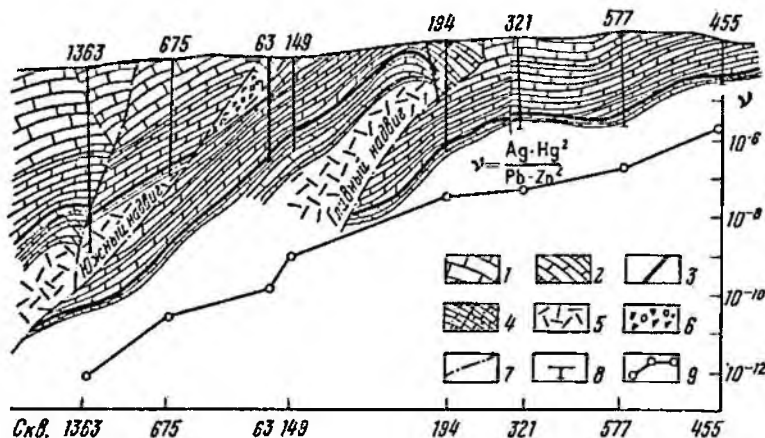


Рис. 41. Изменение геохимического показателя зональности с глубиной на месторождении Миргалимсай [45]:

1 — известняки  $C_{1t_1}$ ; 2 — известняки  $D_3fm_{5-8}$ ; 3 — рудный горизонт  $D_3fm_4$ ; 4 — известняки  $D_3fm_{1-3}$ ; 5 — аргиллиты  $D_3fm_9$ ; 6 — тектоническая брекчия; 7 — тектонические нарушения; 8 — разведочные скважины; 9 — график  $\nu$

Месторождение Миргалимсай относится к сфалерит-галенитовой формации прожилково-вкрапленных руд, представленных пластообразными залежами в определенных горизонтах карбонатных пород верхнего девона. Промышленное оруденение месторождения Миргалимсай приурочено к асимметричной антиклинальной складке северо-западного простирания, разбитой разрывными нарушениями на ряд тектонических блоков. Полиметаллическое оруденение образует рассеянную послынную вкрапленность с мелкими прожилками кальцита, барита, доломита, галенита, пирита и сфалерита в пределах второго ленточного горизонта доломитов и известняков фаменского яруса [32].

Исследование зональности проводилось по четырем разведочным профилям по 8 уровней на каждом [45]. По трем разведочным профилям выявлено девять общих монотонных показателей I—III порядков общего вида  $\frac{Hg, Ag, As, (Ba)}{Zn, Pb, Mn, (Cu)}$ . Барий и медь взяты в скобки, поскольку

они появляются в числителе и знаменателе показателей лишь на одном из четырех профилей. Наилучшим образом осевую зональность месторождения Миргалимсай характеризует геохимический показатель

$\nu = \frac{Ag \cdot Hg^2}{Pb \cdot Zn^2}$  (рис. 41), имеющий высокий размах (более чем

40 млн. раз) и устойчивость значений на трех профилях. Немонотонный

„блоковый” характер изменения величин  $\gamma$  по четвертому профилю объясняется сложной структурной обстановкой, обусловленной серией тектонических нарушений. На основании анализа осевой зональности месторождения Миргалимсай высказано предположение о наложенном характере оруденения по отношению к рудовмещающим толщам или интенсивном перераспределении рудных элементов при эпигенетических процессах [7, 45].

Поперечная зональность месторождения Миргалимсай в общих чертах повторяет его осевую зональность. Отмечается большее накопление в висячем боку рудной залежи серебра, бария, ртути относительно молибдена и цинка, тяготеющего к ореолам лежащего бока [7].

Месторождение Байжансай, расположенное в центральной части Мынчабырской антиклинали, приурочено к карбонатным брекчиям в зоне крупного Байжансайского разлома. Основное рудное тело, локализованное в породах аксуранской свиты фамена, относится к ачисайскому типу агрегативно-метасоматических руд. На юго-восточном фланге в известняках нижнего турне обнаруживаются рудные тела миргалимсайского типа. Основные рудные минералы — галенит, в меньшей степени пирит, сфалерит.

По геологическим условиям к месторождению Байжансай близко месторождение Аксуран, расположенное в пределах северо-восточного крыла Мынчабырской антиклинали. В строении месторождения участвуют карбонатные отложения верхнего девона, образующие сложнопостроенную Аксуранскую синклираль. Секущие рудные тела ачисайского типа, локализованные в зоне Аксуранского разлома, представлены богатовкрапленными и агрегативными рудами, сложенными галенитом, сфалеритом и пиритом. Пластовые рудные тела в основном локализованы в конгломератовидных известняках фамена и представлены прожилково-вкрапленным оруденением галенита и сопутствующих ему минералов.

Месторождение Карасай Южный приурочено к восточному крылу Карасайской синклинали. Рудные тела приурочены к участкам послонной и секущей трещиноватости в карбонатных толщах верхнего девона и нижнего карбона. Оруденение ачисайского типа представлено линзолентообразными телами мощностью от 1 до 3 м, вытянутыми по простиранию до 150–250 м.

По геохимическому составу и морфоструктурным признакам рассмотренные месторождения близки. Исследование вертикальной зональности месторождений Карасай Южный, Байжансай и Аксуран, проведенное по данным геохимического опробования штольневых горизонтов, позволило установить следующие ряды осевой зональности [7]:

Байжансай — Zn — Cd — Pb — Mo — Ag — Hg;

Аксуран — Zn — Cd — Mo — Pb — Hg — Ag;

Южный Карасай — Zn — Cd — Pb — Mo — Ag — Hg.

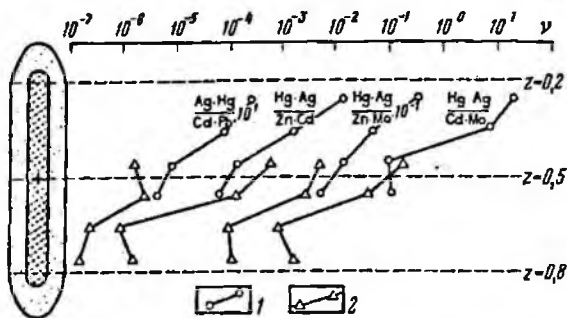


Рис. 42. Совмещенные графики изменения показателей осевой зональности месторождений Карасай (1) и Байжансай (2) [7]

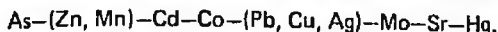
Общая формула убывающих показателей осевой зональности месторождений может быть записана в следующем виде:  $\frac{\text{Hg, Ag}}{\text{Zn, Cd}}$  (Pb, Mo).

Сравнение значений показателей  $\nu$  по вертикали рудных залежей показывает, что наименее эродированным является месторождение Южный Карасай, а наиболее эродированным — Аксуран. Эти данные хорошо согласуются с результатами разведочных работ на месторождениях и позволяют выбрать некоторые показатели  $\nu$  для оценки оруденения в метрике фиксированных уровней обобщенной модели месторождения ачисайского типа (рис. 42).

К третьему типу промышленного оруденения принадлежит месторождение Шалкия, расположенное в Майдантальской синклиналиной зоне Северо-Западного Каратау. Основной структурной единицей района служит Акуюкская брахисинклиналь, ограниченная с северо-востока и юго-запада разломами типа надвигов. В геологическом строении рудного поля месторождения принимают участие терригенные породы среднего и верхнего девона, а также карбонатные отложения позднедевонского и раннекаменноугольного возраста. Рудные тела сосредоточены в верхней части разреза фаменских отложений, локализуясь в основном в доломитовой пачке джилаганатинского горизонта мощностью от 60 до 180 м. Основные рудные залежи представляют собой пластообразные тела размером по падению и простирацию сотни метров и мощностью десятки метров. Четких границ рудные тела с вмещающими породами не имеют. Оруденение неравномерное, прожилково-вкрапленное. Рудные минералы — сфалерит, галенит, пирит, реже халькопирит, блеклые руды, арсеницит.

Исследование геохимической зональности, проведенное в трех направлениях, позволило установить наличие слабоконтрастной поперечной и осевой зональности при отсутствии закономерного распределения элементов в продольном направлении [7].

Поперечная зональность отложения элементов характеризуется рядом (снизу вверх): Cd — (Ag, As) — Co — (Zn, Pb, Cu) — Mn — Hg — Mo — Sr. Закономерности в распределении химических элементов в поперечном сечении рудной зоны месторождения отмечались также Б.Р. Берикболовым и Е.С. Зориным, описывающими рост содержаний мышьяка, серебра, кадмия, индия и германия в сторону лежащего бока от центра рудной залежи. Очень близкой по виду к поперечной зональности является осевая зональность по падению рудной залежи:



Размах значений геохимических показателей осевой зональности общего вида  $\frac{\text{Sr}, \text{Mo}, \text{Hg}, \text{Pb}}{\text{Ag}, \text{Cd}, \text{As}, \text{Zn}}$  очень низок. Для показателей III порядка он достигает только первых десятков единиц. Этого явно недостаточно для надежной оценки рудных пересечений в метрике месторождения Шалкия. Определение уровней эрозионного среза объектов типа Шалкии А.С. Малахов рекомендует проводить по данным представительных выборок по полным рудным пересечениям по избежание ошибок, связанных с близостью рядов осевой и поперечной зональности и малым размахом показателей и.

Дальнейшее повышение эффективности геологоразведочных работ в пределах хребта Каратау требует более широкого привлечения к выявлению и оценке рудопроявлений геохимических критериев. Тесная увязка геологических и геохимических исследований обеспечит надежную оценку перспектив оруденения на глубину с указанием его предполагаемого масштаба.

Значительная часть промышленных стратиформных свинцово-цинковых месторождений Центрального Казахстана сосредоточена в Атасуйском рудном районе. Месторождения располагаются в пределах Жайльминской грабен-синклинали, осложненной брахискладками II порядка. Последние сопряжены с долгоживущими разломами в нижнепалеозойском фундаменте, к местам пересечения которых приурочено большинство месторождений. Рудовмещающими толщами являются морские терригенно-карбонатные отложения фаменского яруса, мощность которых колеблется от 350 до 1700 м [32]. Рудные тела месторождений подразделяются на две большие пространственно совмещенные группы: сингенетичных (седиментных) и элигенетичных (наложенных) руд. По данным А.А. Рожнова и других исследователей, сингенетичные залежи представлены чередованием прослоев железной и марганцевой руды с углесто-глинисто-кремнисто-карбонатными образованиями фамена, включающими тонкую вкрапленность сфалерита. Эпигенетичные барит-полиметаллические руды, тяготеющие к зонам дробления, межпластовых срывов в замках складок, широко распространены в породах фаменского и турнейского ярусов.

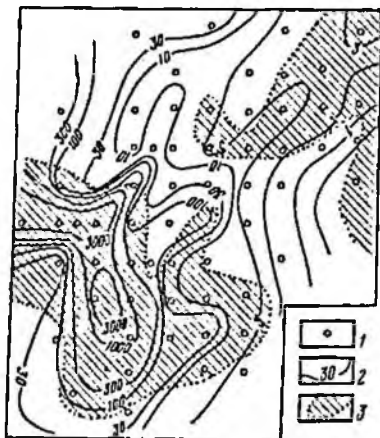


Рис. 43. Изменения величин геохимического показателя  $\nu = \frac{Ag \cdot Cu}{Zn^2}$  и продуктивности бария в плане рудного горизонта месторождения Восточный Жайрем. По Н.З. Хаматдинову.

1 — буровые скважины, включенные в подсчет; 2 — изолинии геохимического показателя; 3 — область продуктивности бария  $\geq 10,0$  м %

В зависимости от преобладания тех или иных полезных компонентов различают объекты, представленные преимущественно сингенетичными железомарганцевыми рудами (Тамара, Клыч Южный) или пространственно сближенным сингенетичным марганцевым и эпигенетичным полиметаллическим оруденением (Ушкатын III). Ряд месторождений (Жайрем, Ушкатын I) характеризуются комбинированным составом со сменой эпигенетичных баритовых и свинцово-баритовых руд в центре сингенетичными свинцово-цинковыми и цинковыми на периферии.

Изучение геохимической зональности барит-полиметаллического месторождения Восточный Жайрем по латерали рудной зоны показало ее идентичность в северо-восточном и юго-восточном направлениях. Общая характеристика показателей зональности месторождения отвечает виду  $\frac{Hg, Ag, Ba, Cu, Pb}{Zn, As, Mn}$ .

На рис. 43 приводятся значения одного из показателей и продуктивности бария в плане рудного горизонта месторождения. Отмечается концентрическое расположение изолиний  $\nu = \frac{Ag \cdot Cu}{Zn^2}$ ,

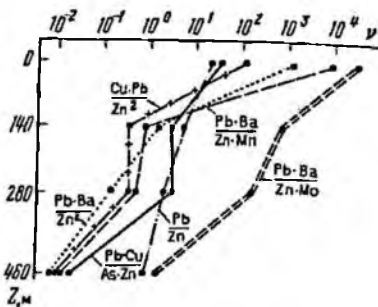
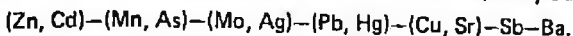


Рис. 44. Графики изменения показателей геохимической зональности месторождения Ушкатын I. По С.С. Солнцеву

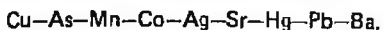
имеющих форму эллипсоида с длинной осью, ориентированной на северо-восток.

Зональность месторождения Ушкатын I характеризуется следующим рядом последовательного отложения элементов (снизу вверх):



В целом эндогенная осевая и латеральная зональность месторождения Ушкатын I характеризуется близостью рядов последовательного отложения элементов при рудообразовании и устойчивостью выявленных показателей  $\nu$  (рис. 44).

Месторождение Ушкатын III, представленное крутопадающей свинцово-цинковой залежью, по данным С.С. Солнцева и Н.З. Хаматдинова, характеризуется вертикальной зональностью, близкой к осевой зональности гидротермальных месторождений:



По результатам исследований зональности месторождения выбрано восемь показателей  $\nu$  II порядка, имеющих большой размах по падению рудных тел. Их геохимическая характеристика может быть представлена

$$\text{в виде } \frac{Hg, Pb, Ba, Ag}{Co, Mn, Cu, As}.$$

Выявленные закономерности для центральной части и северного фланга месторождения нарушаются на южном фланге, где наблюдается обратное расположение элементов в рядах зонального отложения. Коэффициент ранговой корреляции между двумя рядами составляет  $r = -0,72$  при  $r_s \% = 0,67$ . Геохимические показатели, убывающие по падению рудных залежей в центре и на северном фланге, в южной части месторождения обнаруживают тенденцию к росту величин  $\nu$  с глубиной. Причинами сложного зонального строения месторождения, вероятно, являются его полигенность, многоэтажное размещение рудных тел, в результате которого наложение надрудных и подрудных ореолов двух залежей приводит к нарушению монотонности  $\nu$ , а в ряде случаев и к изменению направления выбранных показателей геохимической зональности на обратное. В целом геохимическая зональность полиметаллических месторождений Атаусуйского района изучена недостаточно.

Отчетливая картина вертикальной геохимической зональности наблюдается на месторождении Саурей. Месторождение относится к типу стратиформных спорного генезиса, залегающих в карбонатных породах, не имеющих прямой связи с магматическим очагом. Крутопадающие рудные тела локализируются в зонах межпластовых нарушений в толще терригенно-карбонатных пород ордовикского возраста. Наиболее концентрированное оруденение приурочено к контакту карбонатных пород со сланцами, обогащенными углеродистым веществом. Основной рудный минерал — галенит; второстепенные — сфалерит, пирит, халькопирит, блеклые руды. Жильные минералы представлены баритом, кварцем,

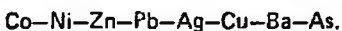
альбитом. Для месторождения Саурей, как и для месторождения Ушка-тын III, характерно резкое преобладание содержаний свинца над цинком, которое в контурах промышленных руд достигает значений 40:1.

При исследовании геохимической зональности месторождения Саурей Т.В. Чепкасовой выявлен следующий ряд последовательного отложения элементов (снизу вверх):



Установленная геохимическая зональность очень близка к обобщенной зональности отложения элементов гидротермальных месторождений. Вопрос о генезисе месторождений пока однозначно не решен, хотя имеющиеся геохимические данные свидетельствуют о его гидротермальном генезисе.

Стратиформное свинцово-цинковое месторождение Сумсар (Киргизия) локализовано в карбонатных отложениях живетского яруса среднего девона. Рудные тела имеют пластообразную форму, смяты в складки и нарушены разломами. На месторождении четко проявлена вертикальная геохимическая зональность распределения типоморфных элементов [14] (снизу вверх):



Некоторые отличия в расположении элементов объясняются преобладанием той или иной минеральной формы, представляющей конкретный химический элемент. Например, медь на месторождении Сумсар, по данным С.В. Григоряна, представлена блеклыми рудами, что приводит к широкому развитию ее первичных ореолов в верхнерудных и надрудных частях месторождения.

Ярко проявленная вертикальная зональность, близкая по типу к зональности гидротермальных месторождений, может указывать на то, что формирование стратиформных месторождений происходило в результате эпигенетической гидротермальной деятельности.

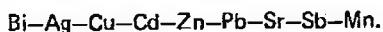
### Скарново-полиметаллические месторождения

Скарновые месторождения свинца и цинка у нас в стране наиболее широко представлены на территории Средней Азии и Приморья. Скарново-полиметаллические месторождения Средней Азии сосредоточены в Западном Карамазаре в пределах юго-восточных склонов Кураминского хребта и гор Моголтау.

Месторождения Алтын-Топкан и Чал-Ата расположены в Алтын-Топканском рудном поле, занимающем центральную часть Западного Карамазара. В геологическом строении месторождений участвуют осадочные отложения среднего протерозоя (известняки, доломиты, мергели, песчаники), которые перекрываются вулканогенными образованиями верхнего палеозоя (туфы, туфолавы андезитовых порфиритов, липаритовые

порфиры). Интрузивные породы представлены гранодиоритами Курминского плутона и верхнепалеозойским комплексом малых интрузий. Основная рудоконтролирующая структура месторождений — Приконтактный разлом, к которому приурочена серия сближенных даек гранодиорит-порфиров верхнего палеозоя с зажатыми между ними пластинами известняков и доломитов. На контакте этих пород формировались биметасоматические скарновые залежи, с которыми связана основная масса полиметаллических руд. Реже оруденение приурочено к контактово-инфильтрационным скарнам, представленным трубчатыми телами в известняках (Северный Алтын-Топкан). Галенит-сфалеритовое оруденение приурочено ко всем разновидностям скарнов, однако наиболее благоприятны для рудообразования гранат-пироксеновые и пироксеновые скарны с повышенными содержаниями закисей марганца и железа. По В.И. Смирнову и Д.И. Горжевскому, на месторождении Алтын-Топкан устанавливается вертикальная зональность, выраженная в вытеснении галенита, сосредоточенного на верхних горизонтах месторождения, вначале сфалеритом, а на глубоких горизонтах халькопиритом, магнетитом и пиритом.

Исследование эндогенной геохимической зональности скарново-полиметаллических месторождений Алтын-Топкан и Чал-Ата проведено Э.И. Бабаевым. Изучены соответственно четыре и шесть разведочных профилей на каждом объекте с числом уровней от 3 до 5. Однотипность геологического строения, значительное сходство геохимических характеристик этих месторождений позволили провести сравнительный анализ эндогенной зональности Алтын-Топкана и Чал-Аты. Обобщенный ряд отложения элементов для месторождений Алтын-Топкана и Чал-Аты имеет вид (снизу вверх)



Количественными критериями геохимической зональности для обоих месторождений служат общие монотонные геохимические показатели  $\nu$ . При совместной обработке данных по Алтын-Топкану и Чал-Ате выявлено 13 монотонных показателей  $\nu$  I—II порядков при ничтожной вероятности появления случайных монотонных ( $N_{\kappa} = 0$ ). Надежность установленных закономерностей отложения рудных элементов подтверждается положительной ранговой корреляцией на 10 %-ном пределе значимости между обобщенными рядами зональности, полученными для обоих объектов, и рядом, выявленным С.В. Григоряном для месторождения Алтын-Топкан [14].

Монотонные геохимические показатели  $\nu$  имеют общий вид

$$\frac{\text{Sb, Sr, Mn, Pb} \cdot}{\text{Bi, Cu, Ag}} (\text{Cd, Zn}).$$

Пригодность показателей  $\nu$  для оценки уровней оруденения обоих месторождений проверялась путем таксации оруденения в метрике наи-



Таблица 12

Значения показателей  $\nu$  для скарново-полиметаллических месторождений Западного Кармазара (по Э.И. Бабаеву)

$z$	Интервалы оруденения	$\frac{Zn}{Bi}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Bi^2}$	$\frac{Zn \cdot Sr}{Bi^2}$	$\frac{Pb \cdot Cd}{Bi^2}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Bi \cdot Ag}$
0,3—0,4	Средне-верхнерудный	$>2,2 \cdot 10^4$	$>5,5 \cdot 10^8$	$>3,1 \cdot 10^6$	$>7,7 \cdot 10^6$	$>2,4 \cdot 10^7$
0,4—0,6	Среднерудный	1400	$1,9 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^4$	$6,5 \cdot 10^4$	$3,9 \cdot 10^5$
0,6—0,7	Средне-нижнерудный	60	$2,7 \cdot 10^3$	9,4	31	$7,1 \cdot 10^3$
0,7	Нижнерудный	$<26$	$<2,9$	$<2,8$	$<7,2$	$<1,5 \cdot 10^3$
Размах $R = \nu_{\max} : \nu_{\min}$		$>870$	$>1,9 \cdot 10^8$	$>1,1 \cdot 10^6$	$>1,1 \cdot 10^6$	$>16000$

более представительного 20-го профиля месторождения Алтын-Топкан. Для таксации были привлечены девять показателей  $\nu$ . Оценки получены весьма точные, незначительно отличающиеся от истинных, а доверительные интервалы оценок уровней оруденения не превышают для Алтын-Топкана  $\pm 13$  м, для Чал-Аты  $\pm 26$  м. Все это указывает на высокую надежность выявленных показателей зональности и на возможность их практического привлечения при оценке новых рудных залежей в метрике Алтын-Топкана и Чал-Аты.

Вид и значение некоторых наиболее контрастных геохимических показателей, рекомендуемых при поисках, оценке и разведке скарново-полиметаллического оруденения Западного Кармазара, приведены в табл. 12.

На продольных сечениях месторождений Алтын-Топкан и Чал-Ата в изолиниях геохимического показателя  $\nu = Pb/Bi$  (рис. 45) отчетливо фиксируется положение векторов зональности. Изолинии  $\nu$  отвечают условным изотермам рудоотложения, а нормали к изолиниям характеризуют предполагаемое направление движения гидротерм.

Скарновое свинцово-цинковое месторождение Курусай представлено крутопадающими трубообразными рудными телами на участке сопряжения трещин отрыва в мраморах турне с Главным рудным разломом. Первичные ореолы слепого рудного тела месторождения Курусай обнаруживают зональное распределение типоморфных элементов, в первую очередь бария и висмута, характеризующих надрудные и подрудные интервалы месторождения. Наблюдаемая зависимость отражается в обобщенном ряду зонального эндогенного отложения [14]: Sn—(W, Mo)—Co—Bi—Cu—Zn—Pb—Ag—(Sb, As)—Ba.

Благодаря большой вертикальной протяженности первичные ореолы бария, свинца, серебра могут служить признаком слепого оруденения. На одном из участков Курусайского рудного поля выявлена аномалия элементов-индикаторов надрудных сечений скарново-полиметаллического

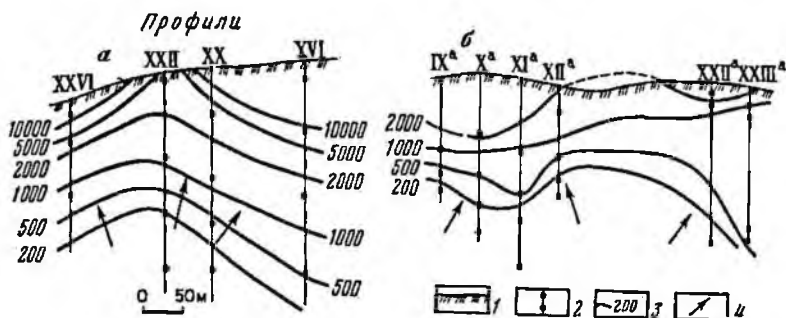


Рис. 45. Изолинии показателя  $\nu = Pb/Bi$  по продольному сечению рудных зон месторождений Алтын-Топкан (а) и Чал-Ата (б). По Э.И. Бабаеву.

1 — дно карьера (а); дневная поверхность (б); 2 — разведочные профили, точки пересечения рудного тела скважинами или выработками; 3 — изолинии  $\nu$ ; 4 — предполагаемые направления движения гидротарм

го оруденения (Ba, Sb, As, Ag) при практически полном отсутствии подрудных элементов, включая такие, как медь и молибден. Это позволило признать участок перспективным на выявление слепого оруденения и рекомендовать его к разведке. Скважины, пробуренные в соответствии с рекомендациями вскрыли промышленное оруденение [14].

Другой пример эффективности геохимических методов при поисках и разведке скарново-полиметаллических объектов — обнаружение слепой рудной залежи промышленного значения на северо-западном фланге месторождения Курусай II. По данным коренного опробования над известным слепым телом отмечались интенсивные первичные ореолы бария, мышьяка, серебра, а также основных ценных компонентов свинца и цинка. В том же разрезе устанавливалась еще одна крутопадающая зона повышенных содержаний элементов-индикаторов надрудной и рудной ассоциаций. По величинам мультипликативных отношений С.В. Григорьяном и Г.Э. Федотовой выявленные ореолы были признаны надрудными и рекомендованы к разведке, которая подтвердила сделанный вывод [14].

Сравнительное изучение многочисленных скарново-полиметаллических месторождений Западного Карамазара (Алтын-Топкан, Курусай, Акташ, Кансай) показало, что несмотря на некоторые различия в условиях локализации оруденения, для всех объектов характерна принципиально единая зональность, которая подтверждается и на других месторождениях свинцово-цинковых формаций. В практическом отношении предложен геохимический показатель  $\nu = \frac{Ag \cdot Pb \cdot Zn}{Cu \cdot Bi \cdot Co}$ , который, как считает С.В. Григорьян, может привлекаться при оценке первичных ореолов свинцово-цинковых месторождений различных генетических типов.

Глубинное геохимическое прогнозирование скарново-полиметалли-

ческих месторождений способно обеспечить пополнение ресурсов свинца и цинка даже в хорошо изученных районах. Опыт изучения первичных ореолов полиметаллических месторождений Дальнегорского рудного района в Приморье показывает, что привлечение геохимических критериев к геологическим прогнозам повышает их надежность [10].

Николаевское месторождение приурочено к толще известняков триаса, перекрытых верхнемеловыми вулканогенными образованиями кислого состава. Рудная залежь находится под липаритами на глубине 700—1200 м от поверхности. Рудовмещающие геденбергитовые скарны содержат основную массу оруденения, представленного галенитом, сфалеритом, пирротином, реже халькопиритом, арсенопиритом, магнетитом, касситеритом, галеновисмутитом. Толща перекрывающих эффузивов рассечена крутопадающими жильными кварцево-сульфидными телами поздних стадий рудоотложения. Они сопровождаются отчетливыми эндогенными ореолами свинца, цинка, серебра, мышьяка, олова, меди. Помимо халькофильной группы элементов формирование колонны метасоматитов протекало с участием литофильных элементов: калия, натрия, кальция, алюминия, которые образуют ореолы привноса (калий) и выноса (натрий, кальций, алюминий) в околорудном пространстве [2]. Ряды эндогенной вертикальной зональности месторождения Николаевское, полученные различными исследователями, сходны [10]: Co—Ni—Cu—Sn—Zn—Pb—Ag—As.

Садовое месторождение расположено в ядре одноименной антиклинали, в месте ее пересечения разломами северо-западного простирания. Месторождение характеризуется неглубокозалегающими (170—200 м) компактно расположенными скарново-сульфидными телами, локализуемыми у контакта глыбы известняков размером 240x120x240 м (Мартовская группа рудных тел) [32]. Рудные тела представлены крутопадающими пластообразными, трубообразными и линзообразными залежами, а также сложными телами с неравномерной рудной минерализацией галенита, сфалерита, халькопирита, пирита, арсенопирита, реже шеллита, касситерита.

Формирование эндогенных ореолов Садового месторождения, по В.И. Сафронову [2], протекало в несколько стадий. В предрудную шло образование скарновых тел гранат-волластонитового и аксинит-геденбергитового состава, вокруг которых возникали ореолы кремния, железа, бора, марганца. В рудную стадию формировались положительные ореолы свинца, цинка, меди, ртути, сурьмы, а также фтора, хлора, калия, рубидия и отрицательные (ореолы выноса) — натрия, алюминия, кальция.

Характер распределения большинства типоморфных элементов в месторождении во многом определяется распределением их содержаний в основных рудных минералах — галените и сфалерите. Так, по данным Ф.И. Ростовского, содержание серебра в ранних генерациях галенита повышено, а содержание висмута достигает 0,2—0,7 %, что может быть

объяснено замещением  $Ag^+$  и  $Bi^{3+}$  на  $Pb^{2+}$ , которое при температурах более  $225^\circ$  (по П. Рамдору) становится практически неограниченным. Снижение температуры приводит к выделению серебра и висмута в виде шапбахита ( $AgBiS_2$ ), образующего твердый раствор с галенитом. Вхождение висмута и серебра в галенит подтверждается данными корреляционного анализа распределения этих элементов в свинцовых рудах, по которым отмечены сильная положительная связь между содержаниями серебра и висмута ( $r = 0,93$  при  $r_s \% = 0,67$ ) и незначимые отрицательные связи между содержаниями серебра и свинца ( $r = -0,33$ ), а также висмута и свинца ( $r = -0,15$ ). Приведенное замечание объясняет особенности распределения некоторых элементов, в частности серебра и висмута, в ряду зонального отложения Садового месторождения (снизу вверх):

Co—Mo—Mn—Sn—(Cu, Ag)—Bi—As—Cd—Zn—Pb—Sb.

Совместное исследование вертикальной эндогенной зональности Мартовской и Галенитовой рудных залежей месторождения Садовое с числом уровней соответственно 6 и 5 выявило семь показателей  $\nu$  II порядка при  $N_k = 0$ , что подтверждает неслучайный характер самих показателей  $\nu$  и полученного ряда зональности. В общем виде геохимические показатели могут быть записаны как  $\frac{Sb, Pb, Zn}{Bi, Ag, Sn, As, Mn}$ . Значения выявленных  $\nu$  по падению рудных залежей в интервале глубин порядка 400 м уменьшаются в 20 000 раз.

Месторождение Западный Партизан, в отличие от Николаевского и Садового, выведено на дневную поверхность и затронуто процессами современной денудации. Геологическая характеристика месторождения принципиально не отличается от рассмотренных ранее объектов. В строении месторождения принимают участие породы двух структурных ярусов: нижнего, сложенного осадочными образованиями триасюрского возраста, и верхнего, сложенного вулканогенно-осадочными образованиями верхнего мела и палеогена. Основные рудоподводящие и рудовмещающие структуры — это узлы пересечения тектонических нарушений северо-западного и меридионального направлений. Рудные метасоматические залежи представлены трубо- и линзообразными телами геденбергитовых скарнов с неравномерной вкрапленностью сульфидов: галенита, офалерита, халькопирита, пирита, арсенопирита.

Исследование вертикальной зональности месторождения Западный Партизан по программе „Ню-2“ выявило следующий ряд отложения элементов (снизу вверх): Bi—Zn—As—(Cu, Pb)—(Mn, Ag)—Hg—B. Получено 20 показателей I и II порядков при  $N_k = 2$ . Геохимические показатели могут быть записаны как  $\frac{Hg, Mn, B}{Zn, Bi, Pb}$  (Cu, Ag, As). Наиболее контрастные показатели образованы из элементов числителя и знаменателя обобщенного геохимического показателя. Например, размах показателей в

исследованном интервале 360 м составляет  $\nu = \frac{B^2}{Pb \cdot Zn} - 4,8 \cdot 10^5$ ;

$$\nu = \frac{B \cdot Hg}{Pb \cdot Zn} - 1,8 \cdot 10^5; \nu = \frac{B \cdot Hg}{Zn^2} - 3,9 \cdot 10^4.$$

### Жильные свинцово-цинковые месторождения

Особенности распределения рудных элементов в месторождениях кварц-полиметаллической формации рассматриваются по материалам Н.Н. Трофимова и А.И. Рычкова [46].

Жильные свинцово-цинковые месторождения Северного Кавказа сосредоточены в Северо-Осетинском полиметаллическом поясе и контролируются региональными разломами северо-западного простирания. Наиболее известными месторождениями региона являются Садон и Згид. Они приурочены к Садоно-Унальской антиклинали, ядерная часть которой представлена гранитами палеозоя, а крылья — осадочными и вулканогенными породами нижней и средней юры. Месторождения Садоно-Унальского рудного поля локализируются в гранитах и лишь отчасти распространены в породах юры. Рудные жилы месторождений Садон и Згид контролируются вертикальными разломами северо-восточного простирания. Расположенные в северном крыле Садоно-Унальской антиклинали месторождения Левобережное приурочено к северо-западным, реже субмеридиональным рудоносным зонам в песчано-аргиллитовой толще нижней юры. Оруденение характеризуется сложными, реже простыми, выдержанными жилами и зонами субпараллельных прожилков.

Месторождение Садон представлено системой сложных жил вдоль вертикального разлома. Мощность жил изменяется в широких пределах и в среднем составляет 1—1,5 м [32]. Главные рудообразующие минералы месторождений — галенит, сфалерит, кварц; в меньшей степени — пирит, пирротин, гематит, магнетит, арсенопирит, халькопирит, тетраэдрит, аргентит, кальцит, марганосидерит, хлорит, барит [46].

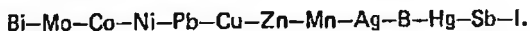
На примере ряда полиметаллических, колчеданных, ртутных месторождений М.А. Лапп, Б.А. Судов, А.Д. Миллер, Л.Я. Крылова, О.П. Побочкова и другие исследователи показали широкие возможности литохимических поисков по так называемым элементам широкого рассеяния — йоду, фтору, бору, хлору, бром, способным формировать первичные надрудные ореолы. Привлечение этих элементов к поискам и оценкам рудных месторождений способствует получению данных о глубоких горизонтах изучаемых объектов. Геохимические поиски рудных месторождений в таких хорошо изученных районах, как Северный Кавказ, ориентированы в первую очередь на обнаружение слепых объектов. При исследовании первичных ореолов свинцово-цинковых месторождений Северного Кавказа установлено, что ореолы йода, ртути, сурьмы и бора, обладая эффективной шириной от 100 до 300 м (для бора) и высокими

аномальными содержаниями, позволяют обнаруживать рудные тела на глубинах до 300 м [46]. Наиболее надежные результаты получены при глубинах залегания рудных тел порядка 100–150 м, поскольку в этом случае ореолы отмеченных элементов характеризуются максимальными значениями линейных продуктивностей. На месторождении Садон ореолы йода, ртути, сурьмы, бора отчетливо фиксируют рудное поле; особенно интенсивные первичные ореолы отмечаются в северо-восточной части, где рудные тела месторождения находятся в слепом залегании. По падению рудных зон наблюдается резкое уменьшение линейных размеров и средних содержаний этих элементов вплоть до полного выклинивания их первичных ореолов.

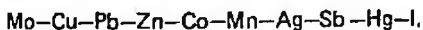
Эндеогенные ореолы свинца, цинка, меди, серебра и марганца примыкают непосредственно к рудной зоне, оконтуривая ее с флангов и по восстанию. Эффективная ширина ореолов в зависимости от структурной позиции оруденения колеблется от 10 до 130 м. Над рудными телами ореолы указанных элементов распространяются на расстояние до 80–100 м.

Первичные ореолы кобальта, никеля, молибдена, висмута преимущественно развиты в центральных и нижних горизонтах месторождений. Их эффективные размеры составляют первые десятки метров. Над слабоэродированными рудными телами ореолы этих элементов не отмечаются.

Четкое распределение рудных элементов по восстанию жильных тел устанавливается при рассмотрении их вертикальной зональности отложения. На месторождении Садон обобщенный ряд зональности имеет вид (снизу вверх)



Для месторождений в песчано-сланцевых отложениях (Левобережное, Какадур-Ханикомское) ряд вертикальной зональности представлен следующим образом (снизу вверх):



Наиболее контрастно зональное распределение рудных элементов в жильных полиметаллических месторождениях Северного Кавказа отражается с помощью геохимических показателей  $\nu$  (рис. 46). Размах показателя

III порядка  $\nu = \frac{\text{I} \cdot \text{Hg} \cdot \text{Sb}}{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Cu}}$  в интервале абсолютных отметок от 2000 до 900 м составляет 25 000 раз. Оценку эрозионного среза жил, вскрытых на уровне промышленных интервалов, рекомендуется проводить по показателю  $\nu = \frac{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag}}{\text{Cu} \cdot \text{Co} \cdot \text{Bi}}$ , предложенному С.В. Григоряном. Однако, как отмечают Н.Н. Трофимов и А.И. Рычков, оценка уровня среза надрудных ореолов и определение расстояния до промышленных горизонтов с помощью этого показателя не всегда возможны, так как не все

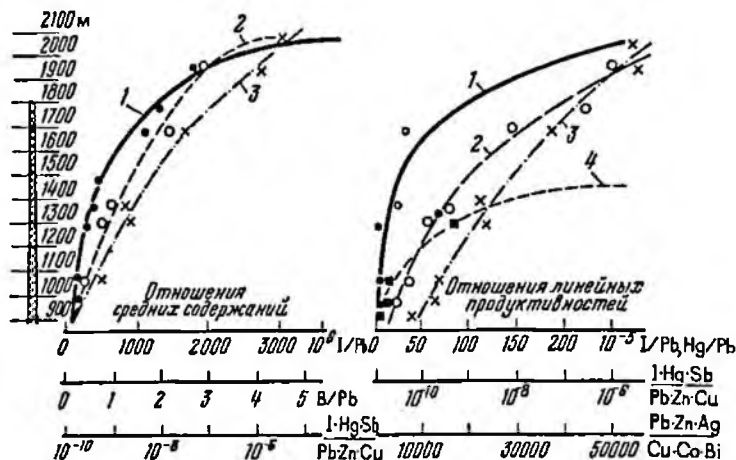


Рис. 46. Графики зависимости значений геохимических показателей от уровня среза эндогенного ореола месторождения Садон [46]:

1 —  $1/\text{Pb}$ ; 2 —  $\text{V}/\text{Pb}$  (на левом графике) и  $\text{Hg}/\text{Pb}$  (на правом графике); 3 —  $(\text{I} \cdot \text{Hg} \cdot \text{Sb}) / (\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Cu})$ ; 4 —  $(\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ag}) / (\text{Cu} \cdot \text{Co} \cdot \text{Bi})$

элементы, входящие в него, могут обнаруживаться в аномальных содержаниях в надрудной зоне. Лучших результатов следует ожидать, если привлечь показатель  $\nu = \frac{\text{I} \cdot \text{Hg} \cdot \text{Sb}}{\text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Cu}}$ , составленный из элементов надрудной и рудной ассоциаций.

Изучение эндогенной геохимической зональности основных типов полиметаллических месторождений показывает, что при наличии ряда специфических черт, свойственных каждому объекту и обусловленных различиями в геолого-структурной позиции оруденения, рассмотренные месторождения группируются между собой. Общие черты зональности сохраняются для каждой металлогенической провинции и находят отражение в зональности конкретных объектов.

#### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МАСШТАБА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ЭНДОГЕННОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Основная задача исследования эндогенной геохимической зональности рудных месторождений — обоснование прогноза оруденения на глубину. Определение денудационного среза рудопроявлений, выявляемых при литохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния, и таксирование рудных пересечений в метрике генетически однотипного хорошо изученного (эталонного) месторождения вошли в практику гео-

химических работ в рудных районах [41]. В условиях наклонного (негоризонтального) залегания рудных залежей эти задачи решаются по величинам нескольких (8—10) монотонно убывающих с глубиной геохимических показателей зональности  $\nu$ , выбранных по программе „Ню-2” для эталонного месторождения, как это было показано в предыдущем разделе. Значительно реже показатели геохимической зональности привлекаются к оценке масштабов отдельных рудных тел (месторождений) в цифрах прогнозных ресурсов металла  $Q_H$ , что в свете современных требований к методике литохимических поисков обязательно [19].

Для прогнозной оценки изучаемых объектов на ранней стадии поисково-разведочных работ привлекается принцип подобия, являющийся развитием метода аналогий применительно к рудным месторождениям. В основе метода аналогии лежит предположение, что явления или объекты, сходные в известных отношениях, могут быть близки и в иных ранее не отмеченных отношениях. Обоснование и последовательное развитие принципа подобия применительно к полезным ископаемым принадлежит А.П. Соловову, сформулировавшему его в 1968 г.: Генетически однотипные месторождения различной крупности являются геометрическими и геохимическими фигурами подобия.

Генетически однотипные рудные тела (месторождения), отличаясь по своим объемам и запасам полезного ископаемого, характеризуются близкой формой с устойчивыми отношениями между линейными размерами залежей. Например, отношения линейных размеров стратиформных свинцово-цинковых месторождений по простиранию, падению и мощности характеризуются цифрами 5:1:0,01, а линзообразных тел колчеданно-полиметаллических месторождений — соответственно 2:1:0,1 и т.д. Естественно, что этот признак проявлен лишь в известных пределах, а именно при условии, что проводимая аналогия между однотипными месторождениями учитывает своеобразие каждого из сопоставляемых объектов. Вместе с тем в пределах рудных районов с близким геологическим строением отношения линейных размеров генетически однотипных рудных тел будут близки к постоянным величинам.

Объекты, относящиеся к одной генетической формации, обладают сравнительным постоянством содержаний основных компонентов в рудах и их средних (по всему месторождению) отношений. Для колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая отношение свинца к цинку составляет 1:3; в сульфидных рудах стратиформных месторождений хребта Каратау (данные по 10 объектам различной крупности) это отношение изменяется в пользу свинца (3:1). Естественно, что отношения между двумя (или несколькими) элементами в значительной степени зависят от зональности объектов и закономерно изменяются по геометрии рудного тела. Вместе с тем для геометрически одноименных точек рудного тела (например, для центров двух залежей) отношения элементов ( $\nu$ ) будет величиной постоянной.



Два генетически однотипных рудных тела, не затронутых процессами денудации, характеризуются полными линейными размерами по простиранию ( $L$ ), падению ( $H$ ) и мощности ( $2a$ ) и постоянным отношением

$$k = L_1 : L_2 = H_1 : H_2 = a_1 : a_2, \quad (7)$$

где  $k$  — показатель подобия.

Теоретическая модель эндогенного рудообразования [21, 35, 45] предполагает наличие интервала промышленных руд, характеризующегося сравнительно постоянной продуктивностью оруденения. В надрудной и подрудной частях продуктивность убывает по экспоненциальному закону в сторону верхнего и нижнего выклинивания первичного ореола. В долях общей вертикальной протяженности месторождения от верхней границы первичного ореола основного рудного элемента ( $z = 0,0$ ) до нижней ( $z = 1,0$ ) интервал промышленных руд, в пределах которого средняя продуктивность оруденения остается относительно постоянной ( $\bar{M}_p = \text{const}$ ;  $\bar{P}_p = \text{const}$ ), заключен в условных границах  $z$  от 0,2 до 0,8. Основываясь на представлении о подобии однотипных месторождений, имеем

$$k = M_1 : M_2 = \sqrt{P_1} : \sqrt{P_2} = \sqrt[3]{Q_1} : \sqrt[3]{Q_2}. \quad (8)$$

Получить ориентировочные цифры параметров оруденения для конкретных типов месторождений, представленных в районе поисковых работ, можно, если задаться масштабами промышленных запасов мелкого, среднего или крупного объекта. Такую классификацию удобнее строить в десятичной системе, согласно которой соотношение между тремя классами запасов месторождений определяется пропорцией 1:10:100. Тогда для линейных геохимических характеристик оруденения трех основных классов месторождений будем иметь

$$M_{\text{мелк}} : M_{\text{сред}} : M_{\text{крупн}} = \sqrt[3]{1} : \sqrt[3]{10} : \sqrt[3]{100} = 1 : 2,15 : 4,64;$$

между площадными параметрами соответственно

$$P_{\text{мелк}} : P_{\text{сред}} : P_{\text{крупн}} = (\sqrt[3]{1})^2 : (\sqrt[3]{10})^2 : (\sqrt[3]{100})^2 = 1 : 4,64 : 21,5.$$

Принимая десятичную систему классификации для месторождений двух соседних классов крупности, имеем показатель линейного подобия, равный 2,15. Указанное значение коэффициента подобия отвечает соотношению между центрами соседних классов при условии постоянства продуктивности оруденения в пределах рудного интервала по основным рудным компонентам.

Важнейшее следствие принципа подобия для методики геохимических поисков — равенство величин данного геохимического показателя при одинаковых значениях  $z$  в условной метрике 0,0—1,0. Значение коэффициента подобия  $k_z$  определяется как отношение тангенсов соответ-

вующих углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , образованных осредненными графиками  $\nu_z$  с осью абсцисс:

$$K_\nu = \operatorname{tg} \alpha_1 / \operatorname{tg} \alpha_2. \quad (9)$$

Оценку  $K_\nu$  целесообразно вести по нескольким разным  $\nu$ , определяя для них среднее геометрическое  $K_\nu$  с указанием доверительных пределов оценки. Значения  $K_\nu$  могут определять соотношение между полной протяженностью интервалов и полными запасами двух объектов, но не дают их абсолютной величины. Определить полную протяженность рудного интервала оцениваемого объекта можно из соотношения (7), зная длину этого интервала для одного из объектов, или по формуле

$$H_{\text{полн. об}} = \lg \left( \frac{\nu_{0,2}}{\nu_{0,8}} \right) ab \operatorname{tg} \alpha_{\text{об}}. \quad (10)$$

Здесь  $\nu_{0,2}$  и  $\nu_{0,8}$  — численные значения геохимического показателя соответственно для начала ( $z = 0,2$ ) и конца ( $z = 0,8$ ) интервала промышленных руд;  $\alpha$  — угол наклона графика  $\nu$ ;  $a$  — линейный масштаб по оси глубин;  $b$  — модуль логарифмического масштаба.

Допустимость подстановки в формулу (10) значений  $\nu_{0,2}$  и  $\nu_{0,8}$ , взятых по любым, в том числе разным, месторождениям при условии их однотипности, вытекает из принципа подобия, согласно которому в метрике  $0,0 \leq z \leq 1,0$  данный геохимический показатель зональности  $\nu$  при одинаковых  $z$  для всех генетически однотипных месторождений имеет одинаковую величину.

Оценив величину  $\bar{M}_z = \operatorname{const}$  по графикам  $M_z = f(z)$ , для основных металлов получаем независимые определения  $K_M$  по формуле (8). При удовлетворительной сходимости  $K_\nu$  и  $K_M$  за величину показателя подобия принимается значение

$$K = \sqrt{K_\nu K_M}. \quad (11)$$

Многочисленные определения этого показателя, проведенные для колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая и Джунгарского Алатау, скарново-полиметаллических — Средней Азии и Приморья, стратиформных — Полярного Урала, характеризуют устойчивость коэффициента подобия.

Оценка прогнозных ресурсов металла, которыми характеризуется объект, требует учета уровня его эрозионного среза  $Z$ , определяемого по графикам показателей зональности в метрике эталонного месторождения:

$$Q_H = \frac{0,8 - z}{0,6} K^3 Q_{\text{полн. эт}}. \quad (12)$$

Аналогичным образом определяется реальная протяженность на глубину оцениваемого рудного тела:

$$H = \frac{0,8 - z}{0,6} K H_{\text{полн. эт}}. \quad (13)$$

Если  $H_{\text{полн.эт.}}$ ,  $\nu_{0,2}$  и (или)  $\nu_{0,8}$  неизвестны, то путем построения модели можно ориентировочно оценить масштаб исследуемого объекта, задаваясь полными запасами, средним содержанием металла в рудах и формой крупного (среднего) месторождения данного генетического типа. Последующие расчеты ведутся по формулам (8) и (12), в которых роль эталона отводится абстрактной модели. При этом сведения об уровне эрозионного среза оцениваемого объекта должны быть получены по независимым данным.

На основе рассмотренных зависимостей проведена оценка ряда полиметаллических месторождений по данным их опробования и анализа эндогенной зональности оруденения. Оценка прогнозных ресурсов колчеданно-полиметаллических месторождений Зырянковского и Лениногорского районов Рудного Алтая с помощью показателей подобия основывается на том, что все изученные объекты относятся к двум близким подтипам, характеризуемым различными моделями.

С целью получения общих характеристик для каждой из двух групп месторождений проведена обработка геохимических данных на ЭВМ по программе „Ню-2“. Для Зырянковской группы месторождений выбраны семь показателей зональности без участия в них главных рудных элементов свинца и цинка (см. табл. 10). По основным рудным компонентам оценены устойчивые значения продуктивностей  $\bar{M}_z = \text{const}$  по рудным зонам месторождений (рис. 47) и определен показатель  $k_M$  по формуле (8). За эталон был выбран профиль Зырянковского месторождения, параметры которого были приняты за единицу. Одновременно по выражению (9) для семи показателей  $\nu$  оценено значение  $k_\nu$ . Поскольку независимые оценки  $k_M$  и  $k_\nu$  устойчивы, то за величины коэффициентов подобия  $k$  для каждого из месторождений можно принять значения их средних геометрических (табл. 13).

Показатель подобия, как уже отмечалось, позволяет оценить соотношение между полной протяженностью рудных интервалов двух объектов, но не дает их абсолютной величины. Полную протяженность оруденения можно получить по графикам  $\nu_z$ , если известны отметки начала ( $z = 0,2$ ) и конца ( $z = 0,8$ ) интервала промышленных руд. Для изученных объектов это уровни: 0,2 для Зырянковского месторождения и 0,8 — для Богатыревского. По выражению (10) установлена полная протяженность рудных интервалов месторождений до начала их эрозии, которая составила (в м): для Зырянковского — 1410, 2-го Греховского — 720, Снегиревского — 710; Богатыревского — 480. Путем подстановки в формулу (13)  $H_{\text{объекта}}$  и  $H_{\text{полн. объекта}}$  оценены уровни среза каждого месторождения. Эти данные и значения  $k^3$  позволили подсчитать прогнозные ресурсы суммы свинца и цинка, исходя из зависимости (12).

Оценка прогнозных ресурсов месторождений Лениногорского района по параметрам  $\nu$  и  $\bar{M}_z$  проведена с помощью шести геохимических пока-

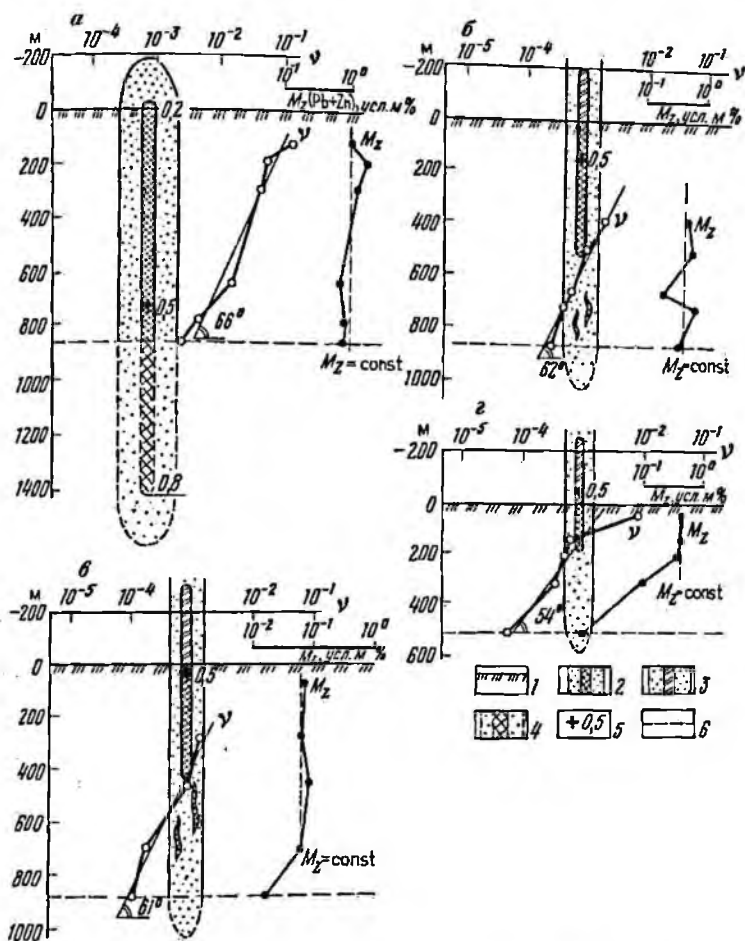


Рис. 47. Графики изменения геохимических параметров  $\nu = \frac{Sb \cdot Hg}{Bi \cdot Sn}$ ,  $M_z$  и модели для фигур подобия месторождений Зырянского района.

Месторождения: а — Зырянское; б — 2-е Греховское; в — Снегиревское; г — Богатыревское. 1 — дневная поверхность; 2 — рудные тела и их первичные ореолы; 3 — часть рудной зоны, уничтоженная эрозией; 4 — предполагаемое продолжение рудного тела на глубину; 5 — отметка центра рудного тела; 6 — уровень геохимической изученности месторождения

Таблица 13

Результаты оценки по  $\nu$  и  $M$  колчеданно-полиметаллических месторождений Зырянского и Пениногорского районов

Месторождение	Профиль	Pb $K_M$	Zn $K_M$	Pb, Zn $K_M$	$K_{\nu} \epsilon^{\pm 1}$	$K$	$z \pm st/\sqrt{n}$
Зырянское	6	—	—	1,0	—	1,0	0,2
2-е Греховское	0	0,39	0,43	0,41	$0,58 \cdot 1,12^{\pm 1}$	0,49	$0,38 \pm 0,08$
Снегиревское	05	0,32	0,85	0,53	$0,48 \cdot 1,21^{\pm 1}$	0,50	$0,47 \pm 0,07$
Богатыревское	5	0,58	0,24	0,37	$0,46 \cdot 1,18^{\pm 1}$	0,41	$0,56 \pm 0,09$
Тишинское	0	3,0	3,33	3,16	—	3,16	0,62
Гусляковское	0	1,34	0,80	1,04	$1,13 \cdot 1,06^{\pm 1}$	1,08	$0,2 \pm 0,20$
Стрежанское	5	0,24	0,10	0,16	$0,54 \cdot 1,14^{\pm 1}$	0,29	$1,0 \pm 0,34$
Шубинское	6 <sup>a</sup>	0,03	0,04	0,035	$0,26 \cdot 1,64^{\pm 1}$	0,10	$0,8 \pm 0,50^*$

\* Ожидаются слепые рудные тела на глубине.

зателей, вид которых согласуется с общим рядом зональности месторождений этого района  $\frac{Hg, Sb, Ag}{Co, Bi, Sn, Mo}$

Из-за отсутствия на изученных месторождениях полных разведанных интервалов от верхнего до нижнего выклинивания оруденения, в качестве „эталоны” взят абстрактный объект с геометрическими размерами и запасами, пропорциональными Тишинскому месторождению. Показатель подобия для абстрактного эталона принят за единицу. Однотипность „эталоны” и Тишинского месторождения устанавливалась путем сопоставления коэффициентов подобия между оцениваемыми параметрами ( $M_p; P_p$ ) и линейными размерами. Совпадение оценок  $K$  позволило все дальнейшие расчеты вести в метрике абстрактной модели. В качестве модели Тишинского месторождения взят объект с полными запасами 2 усл. ед., длиной по простиранию 320 м, мощностью 80 м и полной вертикальной протяженностью 600 м. Оценки  $K_{\nu}$  и  $K_M$  месторождений района в пересчете к модели приведены в табл. 13. Для учета уровней эрозионного среза месторождений по графикам  $M_z$  для профиля 0 Тишинского месторождения определялась нижняя отметка рудного интервала  $z = 0,8$  (рис. 48). По значениям показателей  $\nu_z$  эти же отметки устанавливались и для других объектов. Определив через  $K$  полную протяженность рудных интервалов  $H_{полн}$  и  $H$  по графикам  $\nu_z$  оценим уровни эрозионных срезов изученных месторождений (см. табл. 13).

Пространственная изменчивость оценок  $K$  при недостаточной изученности месторождения может оказывать существенное влияние на величину его прогнозных ресурсов. Наиболее устойчивыми значениями  $K$  будут характеризоваться месторождения с простым геологическим строением, представленные выдержанными по мощности и по простиранию рудными залежами. Разумеется, что даже для таких месторождений показатели  $K$  будут различными для разных сечений, отражая „растану-

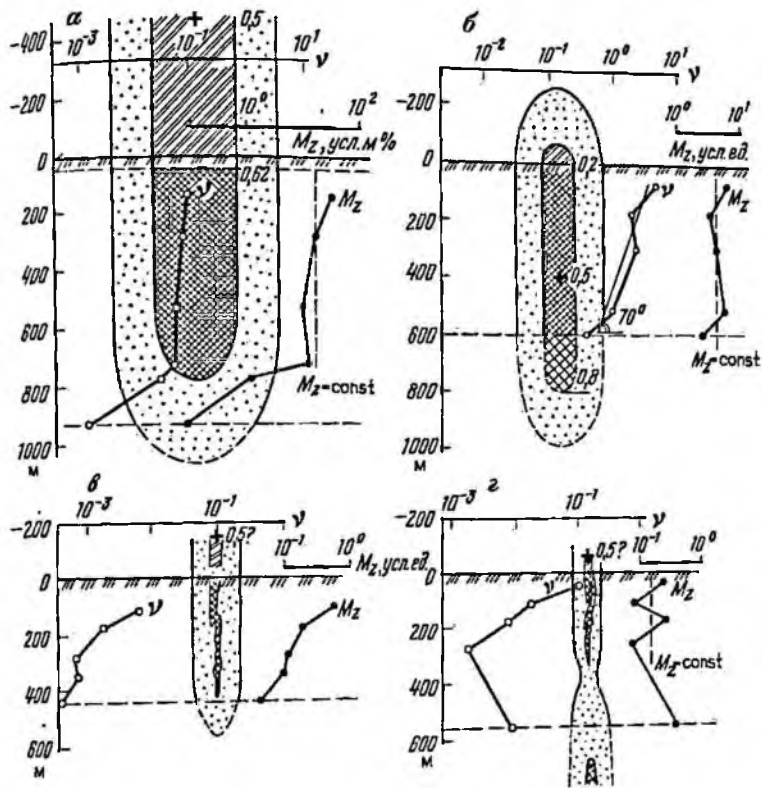


Рис. 48. Графики изменения геохимических параметров  $\nu = \frac{\text{Sb} \cdot \text{Hg}}{\text{Ca} \cdot \text{Sn}}$ ,  $M_z$  и модели для фигур подобия месторождений Лениногорского района.

Месторождения: а — Тишинское; б — Гусялковское; в — Стрежанское; г — Шубинское.

Условные обозначения см. на рис. 47

тость" ( $\kappa > 1,0$ ) или „сжатость" ( $\kappa < 1,0$ ) оруденения по отношению к эталонному разрезу. Оценка показателя подобия, полученная при полной геохимической характеристике месторождения на глубину, позволяет проводить модельные построения, восстанавливая интервалы оруденения, уничтоженные эрозией, и прогнозируя оруденение на глубину.

На месторождении Саурей уверенно определяются устойчивые значения  $M_z = \text{const}$  в интервале  $0,3 \leq z \leq 0,7$  (рис. 49). При  $z < 0,3$  и  $z > 0,7$  происходит постепенное уменьшение приведенной продуктивности до границы верхнего ( $z = 0,2$ ) и нижнего ( $z = 0,8$ ) выклинивания промы-

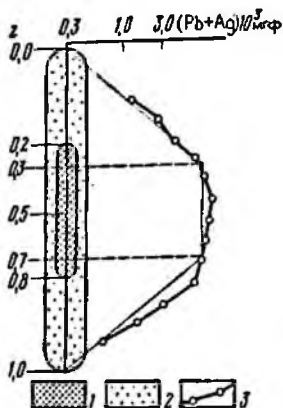
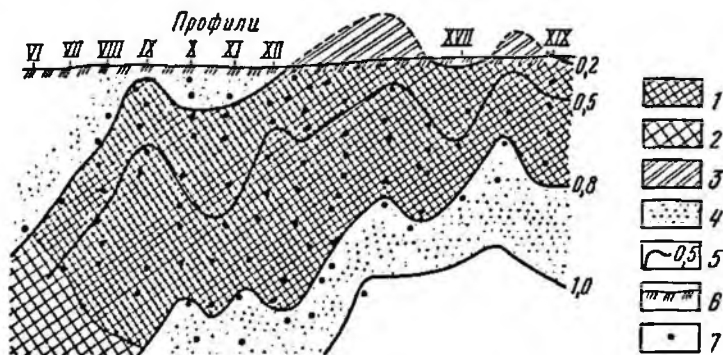


Рис. 49. Модель рудного тела месторождения Саурей. По Т.В. Чепкасовой.

1 — рудное тело; 2 — первичный ореол; 3 — график приведенной линейной продуктивности по разведочным профилям VI—XIX

Рис. 50. Разрез месторождения Саурей в плоскости рудного тела с реконструкцией эродированной части и прогнозом на глубину. По Т.В. Чепкасовой.

1 — разведанная часть месторождения; 2 — резерв оруденения на глубину; 3 — интервал, уничтоженный эрозией; 4 — первичный ореол; 5 — изолинии  $z$  в условной матрице ( $0,0 \leq z \leq 1,0$ ); 6 — современная дневная поверхность; 7 — точки пересечения скважинами рудного тела



ленных руд. Для суммы свинца и серебра (в мгф — метро-геофонах) в интервале промышленных руд оценивались  $K_p$  и  $K_M$  в каждом профиле. Результаты оценки характеризовались хорошей сходимостью и высокой устойчивостью. Средние значения коэффициентов  $k$  по 12 разведочным профилям относительно эталонного профиля изменяются от 0,75 до 1,3.

По установленным оценкам  $k$  с учетом уровней оруденения была построена модель месторождения в плоскости рудного тела в изолиниях  $z = 0,2; 0,5; 0,8$  и  $1,0$ . Это позволило реконструировать эродированную часть и определить резерв оруденения ниже горизонта, достигнутого разведкой (рис. 50). По этим данным предполагается выклинивание оруденения в северо-западном направлении и наличие кондиционных руд на глубинах более 700 м.

Сопоставление геохимических данных по скарново-полиметалличес-

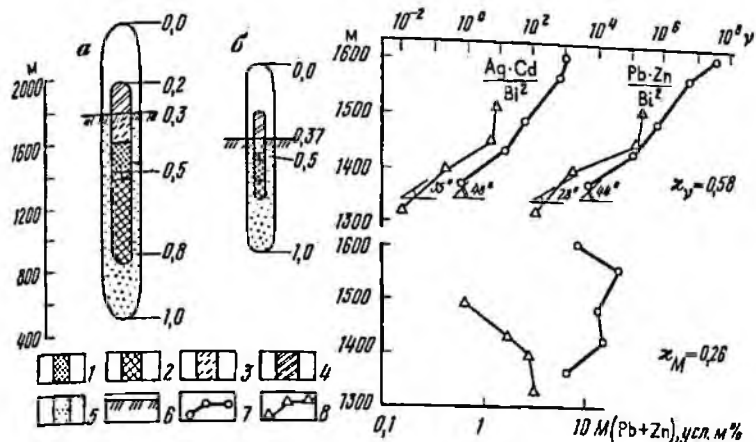


Рис. 51. Геохимическое сопоставление месторождений Алтын-Топкан (а) и Чал-Ата (б). По Э.И. Бабееву.

1 — центральные (изученные) интервалы рудных тел; 2 — нижнерудные интервалы; 3 — отработанные горизонты; 4 — интервалы, уничтоженные эрозией; 5 — первичный ореол; 6 — дневная поверхность; 7-8 — графики  $\nu$  и  $M$ : 7 — Алтын-Топкана; 8 — Чал-Аты;

ким месторождениям Алтын-Топкан и Чал-Ата показало, что первое имеет значительные перспективы на глубину, второе — при более глубоком эрозионном срезе — меньший масштаб (рис. 51). Среднее геометрическое значение показателя  $k$ , полученное из выражения (11), оценивается величиной 0,39. Отсюда соотношение между полными ресурсами месторождений Алтын-Топкан и Чал-Ата составляет 1:0,06, а с учетом урвней срезов — не более 0,04. Несмотря на то что построение и расчеты в конкретном случае носят ориентировочный характер, прогнозная оценка ресурсов этих месторождений оказалась близка к результатам разведки.

Надежная реконструкция и прогноз оруденения на глубину могут быть получены только при условии детальной изученности эталонных объектов в интервале от надрудных до подрудных горизонтов. Сопоставление двух залежей Садового месторождения (рис. 52) по величине коэффициента подобия показало, что независимые определения  $k$  через  $H$ ,  $M$ ,  $\nu$  характеризуются хорошей сходимостью ( $k = 2,1$ ) и малой величиной доверительного множителя при оценке среднего ( $\epsilon = 1,1^{\pm 1}$ ). По этим данным соотношение между прогнозными ресурсами залежей Мартовская и Галенитовая составляет 1:0,11.

Приведенные оценки показателя  $k$  подтверждают реальность этого параметра и позволяют рекомендовать его для прогноза масштабов выявляемого коренного оруденения в метрике генетически однотипных,



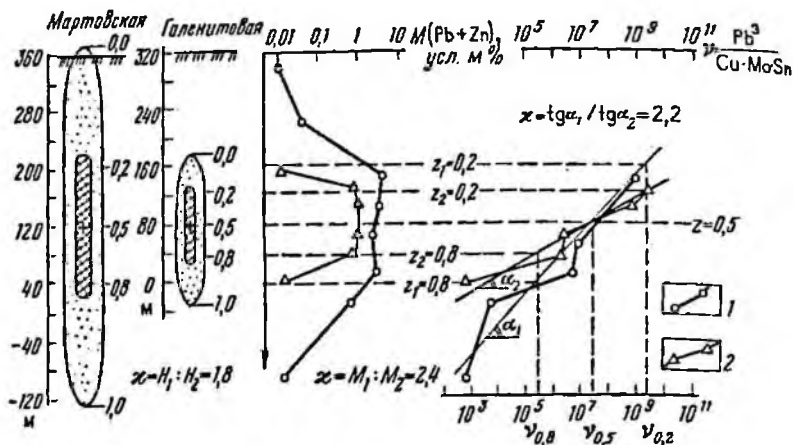


Рис. 52. Модели для фигур подобия с оценками К Мартовской (1) и Галенитовой (2) залежей Садового месторождения

хорошо разведанных эталонных месторождений. Оценка выявляемых объектов, естественно, требует совместного рассмотрения всех имеющихся геологических, геофизических и геохимических данных, при тщательном учете морфологии и условий локализации оруденения. Привлечение к этим оценкам представлений о геохимическом подобии генетически однотипных месторождений особенно важно на стадии поисковых работ, при недостатке других данных.

## ГЛАВА 4

### МЕТОДИКА ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Накопленный за несколько десятилетий опыт литохимических поисков рудных месторождений доказал их высокую эффективность на всех стадиях геологоразведочного процесса. Результатом поисковых и детальных литохимических съемок явилось открытие полиметаллических месторождений на Рудном Алтае (Стрежанское, Осеннее, Богатыревское и др.), в Центральном Казахстане (Алайгыр, Узунжал, Жайрем, Кумадыр и др.), Каратау (Шалкия), Джунгарском Алатау (Коккус), в Забайкалье (Северо-Акатуевское, Курултыкенское, Резановское, Ируновское), в Приморье (Фасольное, Лидовское, Ново-Монастырское и др.), на Енисейском кряже (Тегенинское, Верхне-Каменское, Линейное и др.) и других. Все перечисленные месторождения выявлены по их достаточно

богатым вторичным остаточным ореолам рассеяния в современном элювио-делювии и принадлежат к категории легко открываемых при геохимических поисках.

Несмотря на многолетний опыт проведения региональных поисков по потокам рассеяния, судить об их геологической эффективности очень сложно. В годы массовых открытий рудных месторождений по вторичным ореолам литохимические поиски по потокам рассеяния проводились в ограниченных объемах. В настоящее время основные объемы литохимических съемок по потокам рассеяния приходится на районы Сибири, Якутии и Северо-Востока, для которых поиски полиметаллических месторождений не являются столь актуальной задачей.

Высокая степень геологической и геохимической изученности открытой территории горнорудных районов основных полиметаллических провинций не позволяет рассчитывать на значительный прирост запасов свинца и цинка за счет открытия новых крупных месторождений по их богатым вторичным остаточным ореолам рассеяния, проявленным на современной дневной поверхности. Дальнейшее расширение рудной базы свинцово-цинковой промышленности должно ориентироваться на выявление месторождений, частично и полностью перекрытых чехлом дальнопринесенных отложений, обнаружение которых возможно по слабым наложенным вторичным ореолам рассеяния на поверхности чехла. В пределах рудных полей промышленных месторождений литохимические поиски направлены на обнаружение слепых рудных тел по их эндогенным ореолам на флангах и глубоких горизонтах.

Более отдаленным резервом будут служить крупные свинцово-цинковые объекты в малоизученных северо-восточных районах страны, фиксируемые литохимической съемкой масштаба 1:200 000 по потокам рассеяния.

Ниже кратко излагается методика региональных, поисковых и детальных литохимических съемок с учетом основных требований, предъявляемых при поисках рудных месторождений [19]. Несмотря на неизбежное повторение общеизвестных положений, в целом вся схема содержит в себе новые требования к методам ведения литохимических поисков полиметаллических месторождений и количественной интерпретации полученных данных, которые до сих пор не обсуждались.

#### **ОПЫТ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Систематическое проведение наземных литохимических съемок, начатое в Казахстане в конце 40-х годов по инициативе С.Д. Миллера, имело первостепенное значение для повышения эффективности геолого-поисковых и разведочных работ во всех рудных районах страны. Прирост разведанных запасов свинцово-цинковых руд начиная с 50-х годов

в значительной мере осуществляется за счет новых промышленных объектов, открытых в результате поисковых литохимических съемок по вторичным остаточным ореолам рассеяния.

Первый опыт планомерных площадных литохимических (металлометрических) съемок масштаба 1:50 000 по прямоугольной сети сыграл решающую роль не только в открытии полиметаллического оруденения Центрального Казахстана, но и в утверждении основных принципов методики геохимических и геофизических поисков рудных месторождений в целом. Геохимические работы тех лет характеризовались высокой эффективностью, доказательством которой, как отмечали С.Д. Миллер, И.П. Беневоланский, В.А. Кличников в 1958 г., является тот факт, что экспедицией ежегодно открывается значительное число новых месторождений и перспективных участков, зачастую пропущенных ранее при геологических съемках и поисках.

Примером эффективности литохимических методов является переоценка ранее известного мелкого рудопоявления Алайгыр в Центральном Казахстане. В результате поисковой литохимической съемки масштаба 1:50 000, проведенной в 1950 г., по данным В.А. Кличникова это рудопоявление, ранее известное как медное, выделилось крупным по площади ореолом рассеяния свинца в делювии, не оставляющим никаких сомнений в необходимости его дальнейшего изучения. Детальные литохимические съемки масштаба 1:10 000 (по сети 100×10 м) позволили установить, что ореол имеет протяженность порядка 2 км. Максимальные содержания свинца в пробах делювия составили 3%. Пространственно ореол соответствовал рудной зоне среди кварцевых порфиров нижнего карбона, дальнейшее изучение которой горно-буровыми работами выдвинуло рудопоявление в число промышленных объектов.

До 50-х годов Атасу́йский район, известный своими железо-марганцевыми рудами, относился к числу бесперспективных на выявление полиметаллического оруденения, что задерживало включение литохимических съемок в комплекс поисковых методов, применявшихся в этом районе. Между тем именно с литохимическими съемками по вторичным ореолам рассеяния в дальнейшем было связано выявление полиметаллической минерализации и открытие месторождений. Проведенная в опытный порядок в 1951 г. (А.В. Строителева, Т.Г. Каймирасова) литохимическая поисковая съемка по сети 250×50 м выявила в районе междуречья Атасу — Талды — Манака четкий ореол рассеяния свинца, последующая детализация которого и проверка горными работами в 1952 г. завершилась открытием промышленного свинцового месторождения Кужалы [44].

В августе 1951 г. при проверке двумя скважинами магнитной аномалии на участке Западный Жайрем было обнаружено полиметаллическое оруденение. В связи с этим в 1952–1953 гг. были проведены крупномасштабные литохимические съемки на всех участках железо-марганце-

вого оруденения и рудных магнитных аномалий. В результате на всех участках, в том числе на Каражале, Ктае, Бестюбе, Кенътобе, Керегетасе, Жумарте, Алтын-Шоко, Северном Клыче и других, были выявлены ореолы рассеяния свинца и цинка, тяготеющие к нижним горизонтам фаменской толщи. На Восточном Каражале, Бестюбе и Ктае содержание свинца в элювио-делювии достигало 0,15–0,8 % [44]. Это позволило в 1953–1954 гг. впервые сделать вывод о высокой перспективности Атасуйского района на полиметаллическое оруденение. Переоценка ряда рудопроявлений привела к открытию новых промышленных свинцово-цинковых месторождений (Жайрем, Бестюбе, Каражал и др.).

В 1954 г. по данным литохимической съемки масштаба 1:50 000 (В.А. Кличников, М.Ж. Жанаев) с последующей детализацией в масштабе 1:10 000 было выявлено месторождение Узунжал. Рудное поле месторождения Узунжал зафиксировано ореолами рассеяния свинца при максимальном содержании 0,15 %. При этом главное рудное тело месторождения, заключающее в себе все разведанные на сегодня запасы, отмечилось двумя аномальными пробями (0,07 % свинца). Детальные литохимические съемки масштаба 1:10 000 позволили выявить небольшой по площади ( $\sim 0,08 \text{ км}^2$ ) ореол рассеяния свинца в элювио-делювии с максимальным содержанием его 1,25 %. За несколько месяцев до открытия месторождения Узунжал была закончена кондиционная геологическая съемка масштаба 1:200 000 данной площади.

Даже после получения результатов детальной литохимической съемки визуальное выделение каких-либо рудных зон не представлялось возможным. И только после изучения ореолов рассеяния горными выработками легкого типа удалось вскрыть свинцовое рудное тело, залегающее согласно с вмещающими породами (известняки, сланцы, песчаники) нижнего карбона. Бурение первых скважин подтвердило его северо-восточное падение и указало на продолжение рудного тела к северо-северо-западу под отложениями неогена и палеогена. В результате геологоразведочных работ промышленные масштабы его полностью подтвердились.

Позднее (1960 г.) в результате планомерных литохимических съемок В.А. Кличниковым открыты полиметаллическое месторождение Ушкатын III и по данным гравиметрии — одноименное марганцевое месторождение.

В те же годы в Восточном Забайкалье при литохимических поисках выявлены промышленные объекты, в том числе и на площадях, ранее изученных геологической съемкой крупной масштабов. По данным О.А. Савадского, рудное поле Акатуевского месторождения было закартировано в масштабе 1:10 000 с расшурфовкой по сети 200x50 и 400x50 м. При проведении площадных литохимических поисков на этой площади к северо-востоку от Акатуевского месторождения открыто Северо-Акатуевское месторождение свинца. С поверхности месторожде-

ние фиксировалось богатыми протяженными вторичными ореолами рассеяния шлейфообразного типа (см. рис. 17). В результате литохимических съемок в Приаргунье выявлены также промышленные Курултыкенское, Резановское, Ируновское полиметаллические месторождения.

На территории Бурятии по данным литохимических съемок обнаружен ряд рудных месторождений, в их числе Назаровское колчеданно-полиметаллическое месторождение. Площадь месторождения изучалась кондиционными геологическими и магнитометрическими съемками и бурением одиночных скважин. Только после проведения литохимических съемок масштаба 1:10 000 были выявлены ореолы рассеяния свинца (до 0,05 %), цинка (до 0,3 %), меди (0,03 %), бария, серебра [43]. Эти данные, а также результаты детальных электроразведочных работ позволили прогнозировать наличие полиметаллического оруденения.

В пределах Озерненского рудного узла поиски первоначально были направлены на обнаружение железорудных месторождений. При бурении выявлены аномальные содержания свинца и цинка, оцененные как результат их широкого сингенетичного рассеяния во вмещающих породах. Поисковой литохимической съемкой был обнаружен вторичный ореол рассеяния свинца, цинка, бария, меди, марганца площадью более 20 км<sup>2</sup>, как выяснилось позднее, отвечающий Озерному колчеданно-полиметаллическому месторождению [43].

В Северном Прибайкалье первые прямые геохимические признаки колчеданно-полиметаллического оруденения установлены в 1962 г. при поисковых литохимических съемках по потокам рассеяния [43]. Были обнаружены потоки рассеяния свинца и цинка с содержанием 0,01 % и протяженностью до 1500 м, точно определявшие положение открытого позднее Холоднинского рудного поля. Поисковые работы в этот период проводились на медно-никелевое оруденение, и появление свинцовой аномалии не привлекло внимания исполнителей. Месторождение было обнаружено в 1968 г. после проведения детальных геолого-геофизических работ.

В Северо-Западном Каратау при проведении литохимической съемки масштаба 1:50 000 были выявлены вторичные ореолы рассеяния свинца с содержанием 0,01—0,02 % размером 1500×500 [44]. С учетом близости геологической и структурной позиции участка работ к месторождению Миргалимсай были проведены детальные литохимические поиски масштаба 1:5000 и геофизическая съемка методом ВП. При оценке уточненных вторичных ореолов рассеяния буровыми скважинами в 1963 г. открыто слепое полиметаллическое месторождение Шалкия.

Начало изучения площади месторождения Чекмарь на Рудном Алтае относится к 1955 г. Поисковые, а затем детальные литохимические съемки выявили вторичные ореолы рассеяния размерами порядка 400×400 м с максимальными содержаниями (в %) свинца и цинка более 1, меди — 0,5; сурьмы — 0,07, мышьяка — 0,05, молибдена — 0,02.

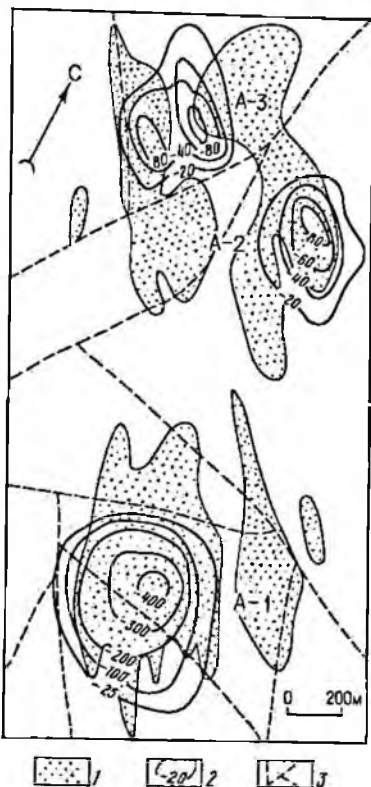
Рис. 53. Схема результатов детальных геохимических и геофизических работ масштаба 1:10 000. По К.П. Ситникову.

Участки А-1 — Чекмарь; А-2 и А-3 — Гусляковский. 1 — вторичные ореолы рассеяния свинца  $\geq 0,01\%$ ; 2 — аномалии естественного поля, мВ; 3 — тектонические нарушения

Обнаруженные на этой же площади аномалии ЕП высокой интенсивности пространственно совпали с контурами ореолов рассеяния (рис. 53). Пробуренные в 1968 г. четыре скважины в пределах вторичных ореолов и геофизических аномалий А-1 и А-3 встретили убогие прожилково-вкрапленные руды. Спустя три года скв. 91, пройденная в области наиболее контрастной части ореола рассеяния и геофизической аномалии А-3, вскрыла полиметаллические руды Гусляковского участка. Даже после подтверждения данных геохимических и геофизических работ на аномалиях А-3 и А-2 дальнейшее изучение аномалии А-1 не проводилось вплоть до 1976 г., когда пробуренные три скважины вскрыли массивные и прожилково-вкрапленные руды месторождения Чекмарь.

Открытие Тишинского полиметаллического месторождения на Рудном Алтае вне связи с результатами ранее проведенных литохимических съемок объясняется только невниманием геохимиков к собственным данным и не ставит под сомнение эффективность геохимических поисков.

Тишинское месторождение было выявлено в 1958 г. в результате картировочного бурения, сопровождавшего геологосъемочные работы. В 1954—1955 гг. на этой площади проводилась литохимическая съемка и геофизические исследования (метод ЕП) в масштабе 1:25 000. В результате этих работ выявлено несколько аномалий свинца, часть которых совпала с аномалиями ЕП. Некоторые из них были оценены как перспективные (А-8, А-10, А-18). Оценка базировалась в основном на близости к известному рудопоявлению (А-8) и на данных детальных



ние фиксировалось богатыми протяженными вторичными ореолами рассеяния шлейфообразного типа (см. рис. 17). В результате литохимических съемок в Приаргунье выявлены также промышленные Курултыкенское, Резановское, Ируновское полиметаллические месторождения.

На территории Бурятии по данным литохимических съемок обнаружен ряд рудных месторождений, в их числе Назаровское колчеданно-полиметаллическое месторождение. Площадь месторождения изучалась кондиционными геологическими и магнитометрическими съемками и бурением одиночных скважин. Только после проведения литохимических съемок масштаба 1:10 000 были выявлены ореолы рассеяния свинца (до 0,05 %), цинка (до 0,3 %), меди (0,03 %), бария, серебра [43]. Эти данные, а также результаты детальных электроразведочных работ позволили прогнозировать наличие полиметаллического оруденения.

В пределах Озерненского рудного узла поиски первоначально были направлены на обнаружение железорудных месторождений. При бурении выявлены аномальные содержания свинца и цинка, оцененные как результат их широкого сингенетичного рассеяния во вмещающих породах. Поисковой литохимической съемкой был обнаружен вторичный ореол рассеяния свинца, цинка, бария, меди, марганца площадью более 20 км<sup>2</sup>, как выяснилось позднее, отвечающий Озерному колчеданно-полиметаллическому месторождению [43].

В Северном Прибайкалье первые прямые геохимические признаки колчеданно-полиметаллического оруденения установлены в 1962 г. при поисковых литохимических съемках по потокам рассеяния [43]. Были обнаружены потоки рассеяния свинца и цинка с содержанием 0,01 % и протяженностью до 1500 м, точно определявшие положение открытого позднее Холоднинского рудного поля. Поисковые работы в этот период проводились на медно-никелевое оруденение, и появление свинцовой аномалии не привлекло внимания исполнителей. Месторождение было обнаружено в 1968 г. после проведения детальных геолого-геофизических работ.

В Северо-Западном Каратау при проведении литохимической съемки масштаба 1:50 000 были выявлены вторичные ореолы рассеяния свинца с содержанием 0,01—0,02 % размером 1500×500 [44]. С учетом близости геологической и структурной позиции участка работ к месторождению Миргалимсай были проведены детальные литохимические поиски масштаба 1:5000 и геофизическая съемка методом ВП. При оценке уточненных вторичных ореолов рассеяния буровыми скважинами в 1963 г. открыто слепое полиметаллическое месторождение Шалкия.

Начало изучения площади месторождения Чекмарь на Рудном Алтае относится к 1955 г. Поисковые, а затем детальные литохимические съемки выявили вторичные ореолы рассеяния размерами порядка 400×400 м с максимальными содержаниями (в %) свинца и цинка более 1, меди — 0,5; сурьмы — 0,07, мышьяка — 0,05, молибдена — 0,02.

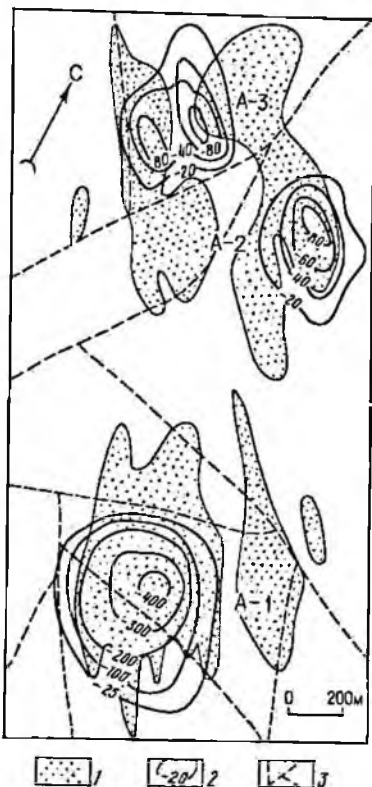
Рис. 53. Схема результатов детальных геохимических и геофизических работ масштаба 1:10 000. По К.П. Ситникову.

Участки А-1 — Чекмарь; А-2 и А-3 — Гусяковский. 1 — вторичные ореолы рассеяния свинца  $\geq 0,01\%$ ; 2 — аномалии естественного поля, мВ; 3 — тектонические нарушения

Обнаруженные на этой же площади аномалии ЕП высокой интенсивности пространственно совпали с контурами ореолов рассеяния (рис. 53). Пробуренные в 1968 г. четыре скважины в пределах вторичных ореолов и геофизических аномалий А-1 и А-3 встретили убогие прожилково-вкрапленные руды. Спустя три года скв. 91, пройденная в области наиболее контрастной части ореола рассеяния и геофизической аномалии А-3, вскрыла полиметаллические руды Гусяковского участка. Даже после подтверждения данных геохимических и геофизических работ на аномалиях А-3 и А-2 дальнейшее изучение аномалии А-1 не проводилось вплоть до 1976 г., когда пробуренные три скважины вскрыли массивные и прожилково-вкрапленные руды месторождения Чекмарь.

Открытие Тишинского полиметаллического месторождения на Рудном Алтае вне связи с результатами ранее проведенных литохимических съемок объясняется только невниманием геохимиков к собственным данным и не ставит под сомнение эффективность геохимических поисков.

Тишинское месторождение было выявлено в 1958 г. в результате картировочного бурения, сопровождавшего геологосъемочные работы. В 1954—1955 гг. на этой площади проводилась литохимическая съемка и геофизические исследования (метод ЕП) в масштабе 1:25 000. В результате этих работ выявлено несколько аномалий свинца, часть которых совпала с аномалиями ЕП. Некоторые из них были оценены как перспективные (А-8, А-10, А-18). Оценка базировалась в основном на близости к известному рудопоявлению (А-8) и на данных детальных





геолого-геофизических работ на аномалиях А-10 и А-8. Другие известные в то время литохимические аномалии считались техногенными, образованными за счет рассеяния рудных элементов при транспортировке руд с Лениногорского рудника. Ореол А-12, который, как выяснилось позднее, был связан с Тишинским полиметаллическим месторождением, признан бесперспективным. Между тем изучение морфогенетических особенностей вторичного ореола Тишинского полиметаллического месторождения, специфические (неблагоприятные для литохимических съемок) условия залегания рудного тела в борту долины под наносами мощностью 20–40 м должны были привлечь внимание геохимиков к его оценке. Редкость обнаружения аналогичных наложенных ореолов, четко проявленных на дневной поверхности, объясняется возможностью их образования только при крупном масштабе коренного оруденения. Приведенный пример показывает, что выявление аномалий, предположительно относимых к числу наложенных ореолов рассеяния, всегда представляет большой практический интерес.

Примером последних открытий массивных полиметаллических руд по вторичным ореолам рассеяния является обнаружение месторождения Леди-Поретта в Австралии [49]. Участок месторождения расположен в 2 км восточнее медного рудника Леди-Анна, известного с начала века. На участке рудного поля продолжались разведочные работы, детальное поверхностное и подземное картирование, электроразведочные работы (метод ВП) и литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния меди. Сопоставление геологического строения месторождения Леди-Анна и известного свинцово-цинкового месторождения Маунт-Айза показало их сходство. Для проверки предположения о возможном наличии полиметаллического оруденения в пределах рудного поля месторождения Леди-Анна каждая десятая проба была проанализирована на свинец, цинк и серебро. В результате была выявлена обширная комплексная свинцово-цинково-серебряная аномалия, не совпадающая с аномалиями ВП. Буровые скважины, пройденные на геофизических аномалиях, вскрыли лишь горизонты карбонатных сланцев с вкрапленностью пирита. Детализация геохимической аномалии по сети 122х30,5 м позволила уточнить контур вторичного ореола рассеяния и определить его линейные размеры, составляющие приблизительно 1000х500 м. Пройденные в пределах ореолов рассеяния разведочные скважины вскрыли богатые свинцово-цинково-серебряные руды, запасы которых по состоянию на 1973 г. составили 8,7 млн. т при среднем содержании свинца 6,7 %, цинка 18,1 % и серебра 110 г/т. Оруденение приурочено к толще карбонатных сланцев и доломитовых алевролитов, смятых в синклинальную структуру северо-восточного направления. Протяженность рудного тела по простиранию составляет 720 м, по вертикали — 460 м при средней мощности 25 м.

Ряд крупных полиметаллических месторождений открыт в последние годы литохимическими съемками по вторичным ореолам рассеяния на

территории других развитых капиталистических стран ( Канады (месторождение Хуски), Франции, Ирландии. В результате разбуривания комплексных литохимических ореолов рассеяния в пределах Армориканского массива в 1968 г. выявлено колчеданно-полиметаллическое месторождение Боденнек, а в 1975 г. — Порт-о-Муан, относящееся к тому же типу. В Ирландии открытие четырех промышленных месторождений свинца и цинка позволило увеличить продукцию горной промышленности страны в 80 раз [50]. Стратиформное свинцово-цинковое месторождение Наван, перекрытое ледниковым тиллем мощностью 2,5 м, открыто при литохимической съемке по сети 150x150 м [50]. Максимальные содержания во вторичном ореоле рассеяния составили: цинка 0,16 %, свинца 0,024 %. Отметим, что эта литохимическая аномалия была обнаружена на окраине города, вблизи шоссе и железной дорог и промышленного предприятия, что легко позволяло отнести ее к разряду техногенных.

Крупная слепая залежь массивных колчеданных цинковых руд месторождения Делбридж (Канада) выявлена на глубине 400 м по первичным ореолам ртути, содержания которой в надрудных окварцованных вулканитах, по данным Дж. Болди, достигали 0,015—0,12 %.

Эффективность литохимических поисков слепых залежей полиметаллических руд по первичным ореолам отмечена в пределах Рудного Карамазара (Таджикистан) и Канского рудного поля (Киргизия). По данным С.В. Григоряна, из 36 рекомендованных к дальнейшей разведке участков на 33 было обнаружено слепое промышленное оруденение [44]. Положительные результаты прогноза оруденения по первичным ореолам достигнуты в районах Рудного Алтая. На Шубинском месторождении в результате исследования эндогенной вертикальной зональности А.И. Карцовым и другими исследователями было предсказано наличие второго рудного эшелона. Разведочные работы последних лет подтвердили этот вывод.

Участок Новоленингорского месторождения до его открытия в 1981 г. был известен с 1961 г. как район оруденения, встреченного одиночной скважиной. В 1979 г. скважиной 1375, пробуренной в 700 м к югу от нее, в интервале 900—970 м в липаритовых порфирах встречен ряд мелких рудных тел. Методом заряда из нее на поверхности была зарегистрирована субширотная зона проводимости протяженностью свыше 2,5 км. Результаты литохимического опробования керна позволили С.А. Махониной предположить наличие залежи промышленных свинцово-цинковых руд к северу от скважины 1375. Заданная по этим данным скважина 1501 на глубине 818,5 м вошла в рудную зону.

Пример результативности методов поисковой геохимии — обнаружение на глубоких горизонтах скарново-полиметаллического месторождения Гарпенберг в Швеции первичных надрудных ореолов, позволивших С.В. Григоряну по показателям зональности прогнозировать наличие сле-

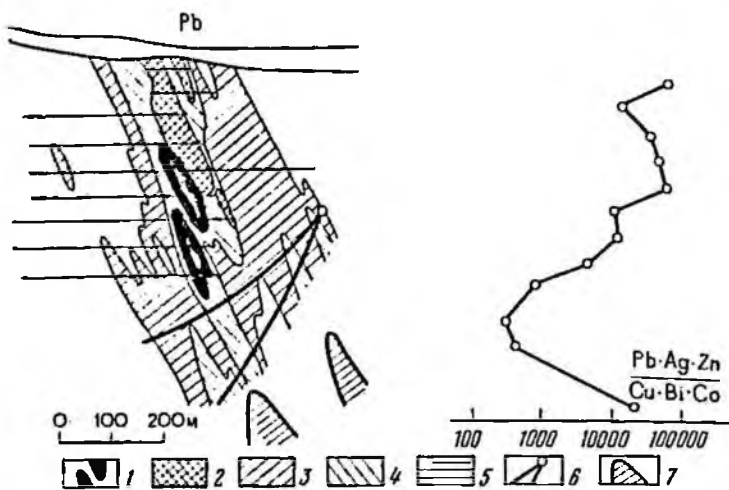


Рис. 54. График изменения с глубиной показателя геохимической зональности первичных ореолов месторождения Гарпенберг [3].

1 — первичные руды; 2 — окисленные руды; 3—4 — первичные ореолы в порядке возрастания содержания свинца (4 — поля максимальных содержаний); 5 — подземные горные выработки; 6 — буровые скважины; 7 — слепые рудные тела, обнаруженные в результате проверки геохимического прогноза

пого рудного тела (рис. 54), вскрытого затем буровыми скважинами на глубине свыше 500 м.

Приведенные примеры убедительно характеризуют эффективность методических разработок советской школы поисковой геохимии.

#### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В РУДНЫХ РАЙОНАХ

В основу геологических работ заложен принцип последовательного перехода от изучения обширных территорий к локальным участкам с общей тенденцией укрупнения масштаба и углубления содержания исследований, отвечающий принятой в СССР стадийности геолого-съемочных, поисковых и разведочных работ.

Единый геологоразведочный процесс разделяется на следующие восемь стадий: региональное геологическое изучение территорий в масштабах 1:200 000 и мельче, геолого-съемочные работы масштаба 1:50 000, поисковые, поисково-оценочные работы, предварительную, детальную, эксплуатационную разведку и доразведку месторождений. Основная задача геохимических поисков на стадии регионального геологического изучения территорий масштаба 1:200 000 — оценка перспектив ее метал-

полности в цифрах прогнозных ресурсов категории  $P_3$  и выделение площадей для выборочной постановки дальнейших литохимических поисков. В горных районах наилучшим образом эта задача решается путем проведения литохимических съемок по потокам рассеяния. На стадиях геолого-съемочных и поисковых работ масштаба 1:50 000 литохимические съемки направлены на уточнение оценки аномальных участков, перспективных на обнаружение рудных полей и месторождений. В зависимости от геологических и ландшафтных условий проводятся наземные (1:50 000 — 1:25 000) и глубинные (1:100 000 — 1:50 000) литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния с количественной оценкой прогнозных ресурсов категории  $P_2$ . Детальные литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния на стадии поисково-оценочных работ проводятся с целью выявления и оконтуривания рудоносных зон и выбора объектов для предварительной разведки. Геохимические работы включают наземные (1:10 000 и крупнее) и глубинные (1:25 000 и крупнее) съемки, по результатам которых проводятся горные работы и бурение. Завершаются работы оценкой прогнозных ресурсов категории  $P_1$ . Литохимические исследования на стадии предварительной разведки проводятся в масштабе 1:1000 и крупнее путем сплошного опробования рудовмещающих пород и руд по горным выработкам и керну скважин с целью уточнения прогнозных ресурсов ( $P_1 - C_2$ ). На стадиях детальной, эксплуатационной разведки и доразведки месторождения геохимические исследования направлены на увеличение прироста запасов за счет выявления слепого оруденения на флангах или глубоких горизонтах месторождения.

#### Региональные съемки

При региональных литохимических съемках комплексно изучаются большие территории с целью выявления рудных зон, полей и крупных месторождений. Съемки проводятся одновременно с геологической и геофизическими работами тех же масштабов и опережают групповую геологическую съемку масштаба 1:50 000. На этой стадии геологического изучения наиболее целесообразны в открытых горных районах литохимические съемки по потокам рассеяния масштаба 1:200 000. В закрытых рудных районах региональные съемки сопровождаются наземными литохимическими исследованиями по вторичным ореолам рассеяния. В каждом случае выбор рациональной методики литохимических съемок определяется условиями формирования потоков и ореолов рассеяния рудных элементов.

Для обоснования методики поисков и оценки гипергенных аномалий осуществляется ландшафтно-геохимическое районирование территорий по условиям ведения геохимических поисков. При этом учитываются биоклиматические особенности, мощность, генетический тип и возраст рыхлых отложений, морфоструктурные особенности рельефа, гидрогео-

логические условия и другие факторы. В результате выделяются четыре типа местности: 1) области развития открытых ореолов; 2) с преобладанием ослабленных и неглубокопогребенных ореолов рассеяния; 3) закрытые территории, в пределах которых возможно образование слабых наложенных ореолов рассеяния; 4) закрытые области с мощностью перекрывающего чехла более 200 м.

В качестве конкретного примера приведена карта районирования территории Джунгарского Алатау по условиям развития вторичных ореолов рассеяния свинца на количественной основе. В основу карты положены помимо приведенных факторов также данные об оценках коэффициентов остаточной продуктивности, полученных с помощью уравнения многомерной регрессии (см. гл. 2).

На карте районирования (рис. 55) выделены площади преимущественного развития открытых вторичных ореолов рассеяния нормальной интенсивности, охватывающие средне-низкогорные области. Для них характерна значительная денудация  $\Delta h = 0,09$  мм/год с преобладанием твердого стока над гидрохимическими. Мощность элювио-делювия невелика и не превышает 1–2 м на южных, 2–4 м на северных склонах. Основные типы ландшафтов – степные и сухостепные (область 1); лесные (на карбонатных породах), лесолугово-степные, лугово-степные, реже полупустынные ландшафты (область 2). В этих условиях ведущим методом является наземная литохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния с глубиной пробоотбора 15–20 см.

Область развития открытых ослабленных ореолов рассеяния охватывает выровненные пространства высокогорных и среднегорных ландшафтов. Ландшафты высокогорные луговые, среднегорные лесные и лесолуговые. Рельеф на поверхностях выравнивания слаборасчлененный, крупнохолмистый на склонах. Характерна замедленная денудация ( $\Delta h = 0,05$  мм/год) с преобладанием растворимого стока над механическим. Пробоотбор при проведении литохимических съемок должен осуществляться с глубины 40 см из иллювиального почвенного горизонта.

К площадям развития вторичных наложенных ореолов рассеяния относятся территории межгорных впадин, заполненных аллювиально-пролювиальными и флювио-гляциальными отложениями неоген-палеогенового и четвертичного возрастов с мощностью до 150–200 м. Характерны степные, лугово-степные, сухостепные и полупустынные ландшафты. Для этих территорий при чехле до 100–120 м рекомендуется проведение наземной литохимической съемки с глубиной пробоотбора 20 см, а также поисковой атмосхимической съемки масштаба 1:100 000 (при мощности рыхлого чехла более 10 м). Выявленные геохимические аномалии (предположительно наложенные литохимические и атмосхимические ореолы рассеяния погребенных месторождений) после их подтверждения повторно-детализационными литохимическими и газовыми съемками подлежат оценке с помощью глубинных литохимических съемок.

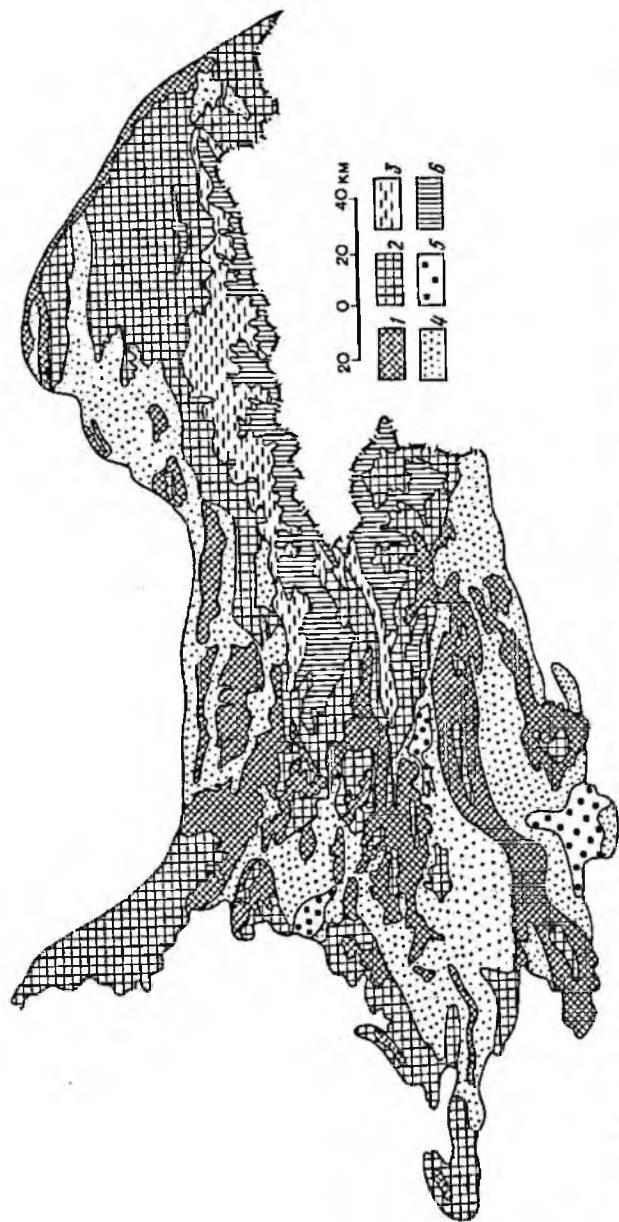


Рис. 55. Районирование Джунгарского Алатау по условиям развития вторичных ореолов рассеяния свинца.

Области преимущественного развития: 1-3 — открытых остаточных ореолов рассеяния ( $k = 2,0-1,0$ , 2 — слабообедненных —  $k = 1,0-0,5$ , 3 — ослабленных с поверхности —  $k = 0,5-0,1$ ); 4 — открытых наложенных; 5 — закрытых наложенных и погребенных остаточных; 6 — области, неблагоприятные для развития ореолов рассеяния (скалы, ледники)

Незначительные площади, перекрытые современными и древними аллювиальными, аллювиально-пролювиальными и золовыми отложениями мощностью более 200 м, относятся к областям развития закрытых наложенных и погребенных остаточных ореолов рассеяния, для выявления которых возможно выборочное применение глубинных литохимических съемок.

Районы, неблагоприятные для развития на современной поверхности вторичных остаточных ореолов рассеяния, охватывают области высокогорья с абсолютными отметками более 2800 м (ледники, каменные тундры, скалы), характеризующиеся островершинным крутосклонным рельефом. Рыхлый материал доступен для опробования лишь во временных и постоянных водотоках. В особо перспективных районах рекомендуется проведение литохимических поисков по потокам рассеяния масштаба 1:50 000.

К областям успешного применения литохимических съемок по потокам рассеяния помимо труднодоступных высокогорных районов относятся огромные территории горнорудных районов Северо-Востока, Сибири, Дальнего Востока. Многолетняя практика работ в этих районах показывает, что промышленные рудные месторождения, выведенные на современную дневную поверхность, отмечаются потоками рассеяния протяженностью от нескольких километров до 15–20 км. Региональные литохимические съемки по потокам рассеяния масштаба 1:200 000 с плотностью 1 проба на 1 км<sup>2</sup> служат надежной базой при проведении геологических съемок и поисков соответствующего или более крупного масштабов. Их привлечение может быть оправдано также при доизучении площадей, ранее закартированных в масштабах 1:200 000 и крупнее, на которых не проводились геохимические поиски, или в случаях, когда качество литохимических съемок прошлых лет не отвечает современным техническим требованиям.

В новых районах выбор площадей и очередность литохимических съемок осуществляются по данным мелкомасштабного ландшафтного районирования территории, регионального металлогенического анализа, геологических съемок масштаба 1:1 000 000, аэрогамма-спектрометрических, аэромагнитных, аэроэлектроразведочных, а также мелкомасштабных гравиметрических наземных съемок.

Региональные литохимические съемки по потокам рассеяния проводятся путем опробования аллювиальных отложений современной гидросети с шагом 500 м. Опробование прекращается на расстоянии 1,5–2 км от водораздела [30]. В последней точке, а также в боковых притоках I–II порядков отбираются две пробы на расстоянии 20–30 м для повышения надежности опробования. По этим данным в общем случае выявляются рудоносные узлы площадью от нескольких десятков до нескольких сотен квадратных километров, представляющие собой области рас-

пространения геохимических аномалий определенного генетического типа, связанных с конкретными геолого-структурными элементами.

Геологический осмотр потоков рассеяния начинается с осмотра русел с максимальными содержаниями металлов, а затем распространяется на прилегающие склоны и водоразделы [19]. Цель осмотра — обнаружение коренных выходов и рудных свалов, для характеристики которых отбираются штучные, шлиховые пробы и образцы. Вкрест зоны оруденения проводится пробоотбор из элювио-делювия по двум-трем профилям с шагом 25–50 м. По данным геологического осмотра и дешифрирования космо- и аэрофотоснимков устанавливаются природа аномалии, ее минералого-геохимический тип, морфология, плановое положение рудных зон. При благоприятной оценке с учетом цифр прогнозных ресурсов категории  $P_3$  решается вопрос об очередности литохимических съемок по вторичным ореолам рассеяния масштаба 1:50 000.

На рис. 56 приведен пример комплексного использования результатов дистанционного и наземного геохимического изучения одного из участков в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Аномальный участок выделен по потокам рассеяния при съемке масштаба 1:200 000. Геологический осмотр аномалий с литохимическим опробованием элювио-делювия выявил рудоносные зоны в вулканогенных толщах, характеризующихся богатыми вторичными ореолами рассеяния

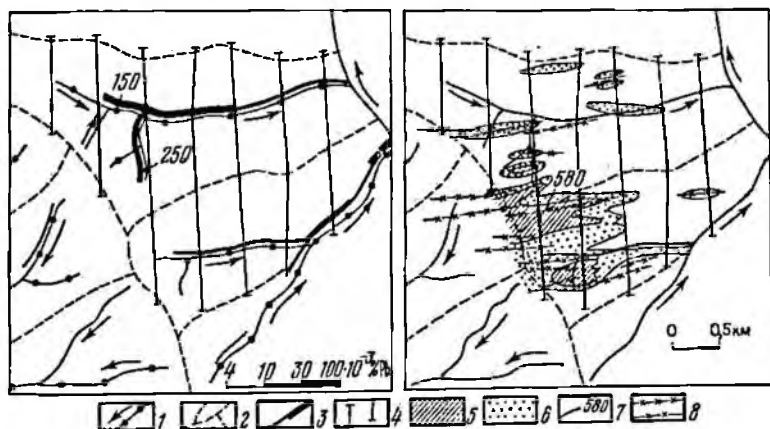


Рис. 56. Литохимические потоки и вторичные ореолы рассеяния свинца в горном районе. По А.Д. Ананченко.

1 — точки пробоотбора и направление стока; 2 — водоразделы; 3 — потоки рассеяния; 4 — профили литохимической съемки; 5–6 — вторичные ореолы (в  $10^{-3}$  %): 5 — > 100, 6 — 100–10; 7 — максимальные содержания свинца в ореолах и потоках рассеяния; 8 — рудоконтролирующие разломы



свинца и цинка. Дешифрирование аэрофотоснимков с учетом геохимических данных позволило обнаружить основные рудоконтролирующие разломы субширотного простирания и наметить перечень трапеций для постановки литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния. Выявленный объект по прогнозным ресурсам суммы свинца и цинка категории  $P_3$  рекомендован к дальнейшему изучению. Семь профилей детализационно-оценочного пробоотбора (см. рис. 56) были заданы без учета положений точек  $R$ , хотя это недопустимо при оценке потоков рассеяния. При соблюдении этого условия теми же или меньшими трудозатратами можно было получить более полные результаты. В частности, очевидно, не следовало проходить два крайних восточных профиля, а два крайних западных профиля стоило удлинить к югу.

### Поисковые и поисково-оценочные работы

Поисковые съемки в горнорудных районах выполняются на перспективных территориях, выделяемых по результатам работ масштаба 1:200 000. Методика и масштаб поисковых и детальных литохимических съемок в зависимости от характера геологического строения может существенно изменяться. В районах, в которых рудовмещающие породы выведены на поверхность, литохимические поиски ориентированы на выявление объектов по их достаточно ярким вторичным остаточным ореолам рассеяния в продуктах современного выветривания. В рудных районах, перекрытых дальнепринесенными отложениями различного генезиса, поиски погребенных месторождений ведутся по их весьма слабым наложенным ореолам рассеяния на поверхности чехла.

Ниже кратко рассматриваются общие принципы методики детальных поисков и оценки рудных месторождений на открытых и закрытых территориях с учетом особенностей, отвечающих работам в районах полиметаллического оруденения.

Литохимические поиски в открытых рудных районах. В открытых рудных районах с доказанными перспективами промышленного оруденения литохимические съемки выполняются в масштабе 1:50 000 с пробоотбором по сети 500x50 (100) м. Съемки проводятся по многолетнему плану, по листно в рамках трапеций соответствующей разграфки. Методика проведения этих работ стандартна и определяется по действующей Инструкции [19].

Поисковые литохимические „металлометрические“ съемки периода 1950–1965 гг. характеризовались высокой эффективностью и отвечали самому передовому для своего времени уровню методики геохимических поисков. Современные литохимические съемки отличаются от съемок прошлых лет более обширным перечнем определяемых элементов в пробах (36–40 против 10–12), а также повышенной чувствительностью и точностью анализа проб (дифракционные спектрографы ДФС-13, ртутно-абсорбционные фотометры РАФ и др).

Появление новых методик анализа литохимических проб (методы частично-фазового анализа, ЧИМ, ТМФ) позволяют получать существенно новые результаты, обеспечивающие обнаружение вторичных ореолов рассеяния в неблагоприятных условиях залегания рудных тел, в том числе слепых, выведенных на поверхность первичными надрудными ореолами. Поэтому наряду с продолжением и завершением площадных литохимических съемок, для части площадей необходимо повторение ранее проведенных съемок на новом техническом уровне.

На Рудном Алтае площади, требующие повторения литохимических съемок масштаба 1:50 000, составляют порядка 24 % [41]. В Приморье необходимо переснять 40 % территории в связи с низким качеством анализа проб и малым числом определявшихся рудных элементов [43]. В рудных районах Южного Казахстана по той же причине на 24 % площади литохимические съемки по вторичным ореолам рассеяния будут повторены. В Иркутской области из 74 % ее площади, охваченной поисковыми литохимическими съемками, только на 41 % они могут быть признаны удовлетворительными [43]. По результатам повторных съемок следует планировать более детальные литохимические съемки на новом техническом уровне. Проведение этих работ на территории горно-промышленных районов совершенно обязательно.

Выявленные в процессе поисков геохимические аномалии подвергаются геологическому осмотру. Этот обязательный и чрезвычайно важный этап оценки должен проводиться непосредственно за выявлением аномалий в течение периода, позволяющего определить их положение на местности по пикетам съемочной сети. В случае большого разрыва во времени становится невозможным нахождение пикетов, и аномалию восстанавливают на местности путем повторения литохимической съемки по 3–5 профилям.

Геологический осмотр начинается с отыскания пикетов с максимальными содержаниями свинца и других рудных элементов. В простом случае прямым осмотром устанавливается проявление полиметаллической минерализации в коренных выходах или в обломочном материале элювио-делювия. В условиях сплошного почвенного покрова в зоне максимальных содержаний признаки рудной минерализации могут не обнаружиться. Поэтому при полевом осмотре полиметаллических аномалий необходимо применять микрохимическую реакцию на свинец с 10 %-ной  $\text{HNO}_3$  (растворитель) и 3 %-ным  $\text{KI}$  (проявитель). Полезно также лотковое опробование элювио-делювия, отобранного в точке  $C_{\text{max}}$ . Обнаружение в сером шлихе вторичных минералов свинца и галенита служит надежной гарантией реальности выявленной геохимической аномалии. К наиболее современным и перспективным методам полевой диагностики признаков рудной минерализации относятся ядерно-физические, в том числе рентгенорадиометрические анализаторы („ЭРА-1“, „Гагара“, РРК-103 „Поиск“, „Минерал-6“ и др.).

Одна из задач геологического осмотра геохимической аномалии — установление ее генетического типа и, как следствие, решение вопроса о целесообразности ее дальнейшего исследования. Принято различать следующие основные типы гипергенных литохимических аномалий: вторичные ореолы и потоки рассеяния, вторичные аккумуляции на геохимических барьерах, техногенные и породные аномалии. Аномалии, относящиеся к отложениям культурного слоя или к породам с повышенными кларками рудных элементов, обычно легко диагностируются на местности. Диагностика аномалий, образующихся в результате процессов аккумуляции химических элементов на природных геохимических барьерах, требует привлечения отношений и корреляционных зависимостей между парами и группами элементов типоморфного комплекса.

Надежным индикатором испарительных аккумуляций в аридных условиях служат аномалии стронция. Испарительная природа таких аномалий легко распознается по признаку их приуроченности к сухим руслам, бессточным впадинам и к участкам засоления. Вместе с тем пространственное совпадение аномалий стронция и элементов с низкими коэффициентами водной миграции может характеризовать коренное оруденение. Например, совмещение вторичных ореолов рассеяния стронция, бария и свинца может отвечать барит-полиметаллическому оруденению. В испарительной аномалии инертные водные мигранты барий и свинец характеризуются низкой величиной отношений  $Ba/Sr$  и  $Pb/Sr$  и отсутствием корреляционных зависимостей между содержаниями этих элементов. Неблагоприятное оценочное значение в определенных геологических условиях имеют высокая величина отношения  $Mn/Pb$  и тесная корреляционная связь между содержаниями свинца и марганца в гипергенных аномалиях.

По результатам предварительного осмотра для дальнейшего изучения выделяются аномалии, заведомо относящиеся к вторичным ореолам и потокам рассеяния. Ландшафтные, породные и техногенные аномалии отбраковываются.

Оценка выявленных вторичных остаточных ореолов рассеяния полиметаллического оруденения, полностью оконтуренных при последующей детализации в масштабе 1:10 000, осуществляется по общей схеме (табл. 14).

1. По линейным продуктивностям центральных профилей вторичного ореола рассеяния или по средним геометрическим содержаниям рудных элементов в 10–20 наиболее богатых пробах строятся линейные (или круговые) геохимические спектры. С целью установления генетической принадлежности найденного объекта проводится сопоставление геохимических спектров выявленного оруденения и ближайших по типу известных в рудном районе полиметаллических месторождений. С той же целью рассматриваются величина обобщенного геохимического показателя

$\nu_0 = \frac{Ag \cdot Sb \cdot Hg}{Mo \cdot Zn \cdot Mn}$  и положение нового объекта на двухмерной геохимической диаграмме (см. гл. 1).

Численные значения этого показателя, приведенные в табл. 1, характеризуют коренное полиметаллическое оруденение. Они пригодны для оценки вторичных ореолов рассеяния только с учетом шести местных коэффициентов остаточной продуктивности  $k$  для входящих в него рудных элементов. В этом случае для величин  $\nu_0$  вторичных ореолов рассеяния вводятся поправочные множители  $\beta = \frac{k_{Mo} \cdot k_{Zn} \cdot k_{Mn}}{k_{Ag} \cdot k_{Sb} \cdot k_{Hg}}$

после чего значения  $\nu_0$  могут сопоставляться с данными табл. 1. Обращаясь к табл. 5 и 7, найдем в них величины  $k$  для Mo, Zn, Ag, Hg. Недостающие значения для Sb и Mn можно из общих геохимических соображений принять равными. Вычисляя  $\beta$  для главнейших типов ландшафтов, перечисленных в табл. 5 и 7, легко обнаруживаем, что несмотря на большой размах  $k_{max} - k_{min}$  величина поправочного множителя остается в пределах 0,5–1,1, т.е. достаточно близка к единице. Это позволяет придти к выводу, что в первом приближении величинами  $\nu_0$  можно пользоваться для оценки формационной принадлежности коренного оруденения по характеристикам вторичных остаточных ореолов рассеяния без учета коэффициентов  $k$ .

2. В соответствии с установленным генетическим типом выявленного оруденения выбирается ранее геохимически изученное и хорошо разведанное „эталонное“ полиметаллическое месторождение, в метрике которого проводится оценка эрозионного среза найденного оруденения. Для этого по 8–10 геохимическим показателям зональности, выбранным в результате изучения зональности эталонных месторождений или заимствованных из литературных источников, определяются средний уровень эрозионного среза ( $\bar{z}$ ) и доверительный интервал оценки ( $\pm s/\sqrt{n}$ ). При неудовлетворительной сходимости оценок генетическая принадлежность выявленного объекта и выбор эталонного месторождения подлежат пересмотру. Для генетически сходных объектов, вскрытых эрозионным срезом на уровне промышленных интервалов оруденения, к прогнозной оценке привлекается показатель подобия  $k \leq 1$ , определяемый по величине отношений между основными параметрами найденного и эталонного объекта ( $M_p, P_p, q_p$ ).

3. На основе подсчета площадной продуктивности вторичного остаточного ореола рассеяния свинца и цинка ( $P$ ) с учетом результатов проходки первых горных выработок и опробования руд в коренном залегании, уровня эрозионного среза ( $\bar{z}$ ), коэффициента остаточной продуктивности ( $k$ ) и ожидаемой доли забалансовых руд проводится оценка прогнозных ресурсов металлов ( $Q_M^*$ ) до целесообразной глубины  $H^*$  категории  $P_1$ . Для контроля с учетом эрозионного среза подсчитывается цифра ресурсов на основе показателя подобия.

Таблица 14  
Схема оценки вторичных ореолов рассеяния в открытых рудных районах

Основные задачи	Состав и последовательность работ	Цель отдельных операций	Оформляемые документы
<b>А. Поисковые литохимические съемки масштаба 1:50 000</b>			
1. Уточнение местоположения, формы, эффективных размеров и параметров вторичного ореола рассеяния и его геологический осмотр	Отыскания и привязка центра вторичного ореола (по $C_{\max}$ ) на каждом профиле поисковой сети. Контрольно-детализационный пробоотбор со ступенем сети в области максимальных содержаний свинца и цинка	Уточнение оси вторичного ореола рассеяния, его морфологии, основных параметров ( $C_{\max}$ , $M$ , $P$ )	Контактная печать (топоплан) с нанесенными на нее магистралями и пикетами съемочной сети. Журналы документации отбора проб литохимической съемки, схемы пробоотбора, моноэлементные карты — „разноски“ содержаний основных рудных элементов
2. Анализ морфогенетических типов ореолов рассеяния (остаточный, полностью открытый, частично погребенный)	Установление среды развития (генетический тип, состав рыхлых образований), оценка мощности рыхлых образований, характеристика ландшафтно-геохимических условий	Выбор метода дальнейшей оценки ореола рассеяния*	Ландшафтно-геохимическая схема участка с указанием рода, типов, классов и видов ландшафтов, ориентировочной мощности и типов рыхлых отложений
3. Оценка коэффициентов остаточной продуктивности $k$ , том числе по уравнению множественной регрессии (5)	Количественный анализ ландшафтно-геохимических факторов. Полевые определения $H$ , $\alpha$ , $\beta$ , $\rho H$ , $N$	Оценка продуктивности коренного оруденения $P_p = P/k$	Расчет значений $k \pm \epsilon^{\pm 1}$ для главных рудных элементов и всех типов элементарных ландшафтов. Оценка средневзвешенной величины $k$ для всего участка. Значения $P_p$ свинца и цинка
4. Выяснения геологической позиции коренного оруденения	Геологические маршруты по двум-трем профилям участка. Отбор сборных штучных проб и образцов из рудных выходов, свалов, зон дробления и гидротермальных изменений	Выяснение условий залегания пород и руд. Обнаружение коренного оруденения и определение его геохимического спектра	Геологическая схема участка с пикетами съемочной сети и точками коренного пробоотбора. Графики геохимических спектров. Фигуративная точка на двухмерной диаграмме. Заключение о геологическом строении участка и генетическом типе оруденения

5. Оценка прогнозных ресурсов металлов по геохимическим данным	Определение полной протяженности рудного интервала на глубину ( $H_{\text{полн}}$ ) с учетом продуктивности коренного оруденения ( $P_p$ ). Приближенная оценка уровня эрозионного среза с помощью показателей $V$ . Выбор глубины подсчета прогнозных ресурсов с учетом $\bar{z}$ и $H_{\text{полн}}$ . Выбор поправочного множителя $\alpha$	Подсчет цифр прогнозных ресурсов металла категории $P_2$ . Выдача рекомендаций на проведение дальнейших детальных работ или обоснование их прекращения	Цифры параметров $P_p, q_p, V, \bar{z}, O_H$ и т.д. в каталогах и на перфокартах. План участка детальных литохимических съемок
<b>Б. Детальные литохимические съемки масштаба 1:10 000 и крупнее</b>			
Пункты 1—4 в соответствии с общей схемой раздела А			
6. Определение геологоструктурных особенностей и вещественного состава коренного оруденения	Проходка 2—3 канава; при мощности элювио-делювия более 3 м — бурение 1—2 наклонных скважин. Сплошное бороздвое опробование руденных участков (интервал $\leq 1$ м) и штучное — неизмененных рудовмещающих пород (интервал 2—5 м)	Установление особенностей геохимического спектра и параметров коренного оруденения. Уточнение значений коэффициента $k$ и доли забалансовых руд $\alpha$ по данным горных и буровых работ	Основной документ — карты изоконцентра на геологической основе и моноэлементные карты „разноски“. Журналы документации канав (скважин). Результаты спектрального (атомно-абсорбционного) и химического анализов бороздвых проб $b_z$ . Таблицы, графики $P_p, M_p, k, \alpha, V_z$
7. Уточнение генетического типа (подтипа) оруденения и оценка прогнозных ресурсов	Выбор эталонного хорошо разведанного месторождения. Определение уровня эрозионного среза $\bar{z} \pm s/\sqrt{n}$ и глубины распространения руд ( $H^*$ ), в том числе с помощью показателя подобия $K$ , продуктивности коренного оруденения $q_p^*$ и поправочных множителей $\eta, \alpha$ . Оценка $O_H$	Геохимическая оценка оруденения в цифрах прогнозных ресурсов металла категории $P_1$ . Выдача рекомендаций на проведение дальнейших горных и буровых работ	Параметры $\bar{z} \pm s/\sqrt{n}, V_z, q_p^*, P_p^*, K$ и цифры прогнозных ресурсов в каталогах и на перфокартах. Оценка сходимости цифр прогнозных ресурсов категорий $P_3^{**}, P_2$ и $P_1$ . Планы расположения рекомендуемых горных выработок и проектные разрезы скважин

\*В случае частичного перехода остаточного ореола рассеяния в погребенное состояние требуется его оконтуривание глубинными литохимическими съемками.

\*\*При условии, что на более ранней стадии проводились литохимические съемки масштаба 1:200 000 с оценкой прогнозных ресурсов (Pb + Zn) категории  $P_3$  по параметрам потоков рассеяния.

4. На объектах с цифрами прогнозных ресурсов по сумме свинца и цинка, отвечающих месторождениям крупного или среднего масштаба, осуществляется бурение двух-трех наклонных поисково-оценочных колонковых скважин глубиной до 150–200 м. Скважины размещаются по профилям вкрест простираения установленных рудоносных зон с таким расчетом, чтобы вскрыть ожидаемое оруденение ниже зоны окисления. Проводится детальная геологическая документация и сплошное геохимическое опробование кернa. В зависимости от результатов бурения выявленное месторождение передается местной ГРЗ с предложениями по его дальнейшей разведке или дается обоснованный вывод о его бесперспективности и соответственно о прекращении дальнейших работ. При невозможности оценки объекта в цифрах прогнозных ресурсов целесообразность поисково-оценочного бурения так же, как и передача объекта для дальнейших исследований, требует специального геологического и геохимического обоснования.

В пределах рудных полей известных промышленных месторождений детальные литохимические съемки проводятся с целью наиболее полного и своевременного выявления их рудных ресурсов. Наземные литохимические съемки весьма важно выполнить в начальный период разведки месторождения, до техногенного загрязнения и промышленной застройки рудного поля. В результате этих работ по характеру гипергенного геохимического поля возможно обнаружение новых рудных тел и признаков рудной минерализации, которые в дальнейшем служат долговременной объективной основой для различных геологических выводов.

Детальные литохимические съемки обеспечивают выявление вторичных остаточных ореолов рудных тел, в том числе слепых залежей, выходящих на современную поверхность только своими надрудными первичными ореолами. Расчет, основанный на величинах коэффициентов гипергенного рассеяния  $\sigma$ , коэффициентов остаточной продуктивности  $k$  и эндогенной подвижности  $(1/\lambda)$  рудных элементов, показал, что в открытых рудных районах литохимической съемкой масштаба 1:10 000 надежно выявляются вторичные остаточные ореолы рассеяния крутопадающих слепых полиметаллических залежей, образованные за счет их надрудных первичных ореолов при глубинах заведомо больше 100 м до горизонта промышленных руд. В качестве примера на рис. 57 приведены вторичные ореолы рассеяния свинца при заданных  $k$  и  $\sigma$ , развивающиеся над слепым рудным телом в различных стадиях эрозионного вскрытия. Характеристика продуктивности свинца и некоторых других рудных элементов для различных уровней инфильтрационного первичного ореола слепого мелкого колчеданно-полиметаллического месторождения приведена в табл. 15.

В открытых рудных районах литохимическая съемка выявляет первичные (надрудные) ореолы слепых месторождений. Эти ореолы выделяются из числа прочих рудопроявлений по данным геохимической зо-

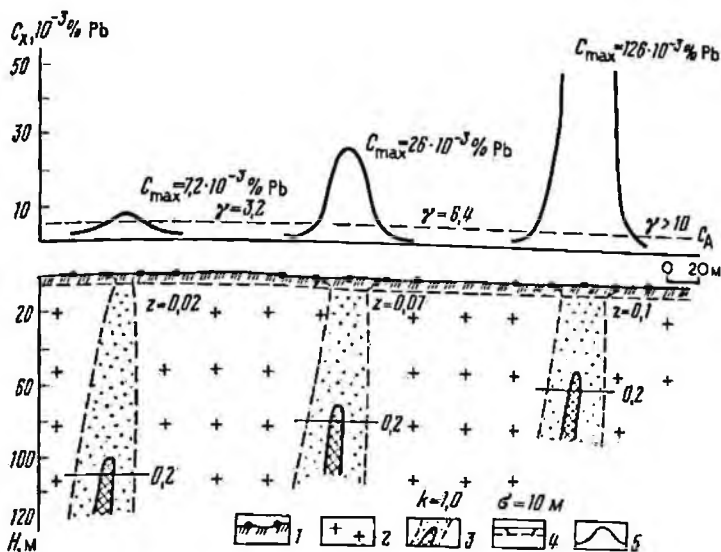


Рис. 57. Вторичные остаточные ореолы рассеяния свинца над слепыми телами в различных стадиях эрозионного вскрытия (модель):

1 — точки опробования элювио-делювия; 2 — рудомещающие породы; 3 — рудное тело с запасами  $\leq 10$  тыс. т Pb + Zn и их первичные ореолы; 4 — контур вторичного ореола рассеяния в разрезе; 5 — графики содержаний свинца

нальности оруденения. Исходя из опыта при геохимических поисках и разведке полиметаллических месторождений, к такой количественной интерпретации вторичных ореолов рассеяния целесообразно приступать при линейной продуктивности Pb  $> 0,5$  м %.

По мере накопления данных литохимических съёмок масштаба 1:50 000 их результаты привлекаются для прогнозной оценки больших площадей. Такие прогнозы основываются на изучении карт удельной металлоносности территории со снятым покровом рыхлых образований

Таблица 15

Линейные продуктивности уровней первичного ореола рудного тела с запасами Pb + Zn до 10 тыс. т

$z$ , в долях от единицы	$M_p$ , м %					
	Pb	Hg	Ag	Zn	Cu	Bi
0,02	0,13	0,000 09	—	—	—	—
0,07	0,40	0,000 13	0,000 06	0,12	—	—
0,1	1,60	0,000 49	0,000 75	1,32	0,65	—
0,2	5,00	0,001 50	0,005 00	15,00	7,50	0,005

[38], которые строятся с учетом местных средневзвешенных значений коэффициентов остаточной продуктивности. Эти карты имеют бесспорное преимущество перед сводными картами вторичных ореолов рассеяния, поскольку характеризуют рудоносность коренных пород  $\Delta q$ , выраженную в тоннах металла на 1 м углубки. Наличие в районе нескольких генетических и возрастных типов оруденения одного и того же металла требует раздельного учета каждой отдельной формации при оценке прогнозных ресурсов. Границы распространения конкретных формаций определяются по картам геохимических показателей  $\gamma$ , выбор которых зависит от состава руд разведанных месторождений данного генетического типа. По изолиниям максимальных значений геохимического показателя  $\gamma = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Ag}{Cu \cdot Mo^2}$  в пределах восточного склона Полярного Урала

Т.В. Чепкасовой на площади 40 тыс. км<sup>2</sup> выделены районы распространения барит-полиметаллической формации. Оценка общей рудоносности этой территории указывает на возможность выявления здесь определенного числа крупных, средних и мелких месторождений этой формации и на необходимость продолжения поисковых работ.

Геохимическое районирование по данным среднемасштабных литохимических съемок позволяет не только уточнять границы металлогенических зон, установленные по геологическим данным, и расширять перспективы известных рудоносных структур, но и выделять новые площади развития оруденения конкретных формаций.

Литохимические поиски в закрытых рудных районах. Особенность современной методики поисковых литохимических съемок масштаба 1:50 000 — возможность их проведения без изменения техники пробоотбора также в полузакрытых и закрытых рудных районах. Именно к таким районам с чередованием „открытых“ и „закрытых“ участков относится Центральный Казахстан с его полиметаллическим оруденением (Атасуйский район, Сарысу-Тенизский водораздел, площадь месторождения Узунжал и др.). На открытой части рудных районов ведутся наземные поиски по остаточным ореолам рассеяния, на закрытой — наземные по слабым наложенным ореолам рассеяния и выборочно глубинные по остаточным ореолам рассеяния.

Многокомпонентный состав, относительно высокие кларки концентраций элементов в рудах и относительно большая горизонтальная мощность полиметаллических месторождений при условии выхода объекта на поверхность рудовмещающих пород на уровне промышленных интервалов — все это благоприятно для развития наложенных ореолов рассеяния на поверхности чехла. Геохимические поиски погребенных полиметаллических месторождений по их литохимическим и газовым наложенным ореолам рассеяния с перекрывающими отложениями мощностью до 100 м в настоящее время успешно ведутся во многих рудных районах в СССР и за рубежом. Принципы выявления погребенного полиме-



таллического оруденения по данным наземной литохимической съемки были рассмотрены в гл. 2.

В сочетании с обработкой данных на ЭВМ путем мультипликации и сглаживания или без этих операций выявление наложенных ореолов возможно различными методами селективного анализа. При изучении наложенных ореолов рассеяния Ушкатынского рудного поля (Центральный Казахстан) методом ацетатно-буферных вытяжек с определением суммы  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$  выявлена протяженная зона аномалий тяжелых металлов в почвах с содержаниями  $(50 \div 200) \cdot 10^{-5} \%$  при фоне  $(20 \div 25) \cdot 10^{-5} \%$  (рис. 58). Вся зона аномальных содержаний в южной и центральной частях расположена над потенциально рудоносными горизонтами пород девона. Буровая проверка трех центров высоких содержаний в почвах этого участка позволила выявить на глубине 30–50 м полиметаллическое оруденение [34]. По ландшафтным условиям месторождение расположено в зоне сухих степей. Уместно отметить, что те же результаты на закрытой части месторождения Ушкатын III были получены при валовом спектральном анализе тех же проб с мультипликацией и сглаживанием данных. Подобно этому обработка данных валового анализа на ЭВМ неоднократно выявляла наложенные ореолы рассеяния там, где для их обнаружения применялась более сложная техника (см. рис. 30).

Общие требования к наземным литохимическим съемкам по вторичным наложенным ореолам рассеяния — это тщательный эмиссионный спектральный или атомно-абсорбционный анализ с докларковой чувствительностью определений и последующая обработка первичных данных на ЭВМ.

При поисках погребенных полиметаллических месторождений эффективные результаты дает мультипликация содержаний рудных элементов в сочетании со сглаживанием данных методом „скользящего окна“

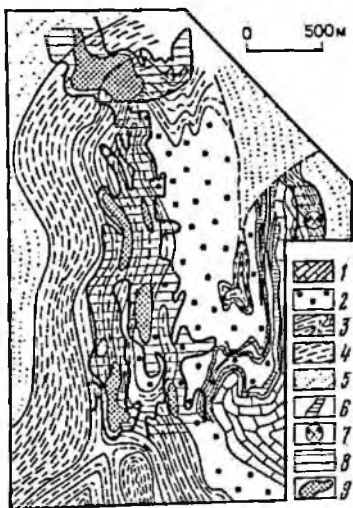


Рис. 58. Схематическая карта наложенных ореолов рассеяния участка Ушкатын III [34]:

1 — глинисто-карбонатные породы  $\text{C}_1$ ; 2 — известняки  $\text{D}_3\text{fm}_2$ ; 3 — углисто-глинисто-кремнисто-карбонатные породы  $\text{D}_3\text{fm}_1$ ; 4 — известняки и алевролиты  $\text{D}_3\text{fm}_1$ ; 5 — красноцветные алевролиты и песчаники  $\text{D}_3$ ; 6 — железо-марганцевые руды; 7 — полиметаллическое месторождение; 8–9 — наложенные ореолы рассеяния в почвах; 8 — сумма содержаний  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn} > 50 \cdot 10^{-5} - 75 \cdot 10^{-5} \%$  (в зависимости от типа почвы), 9 —  $> 100 \cdot 10^{-5} \%$

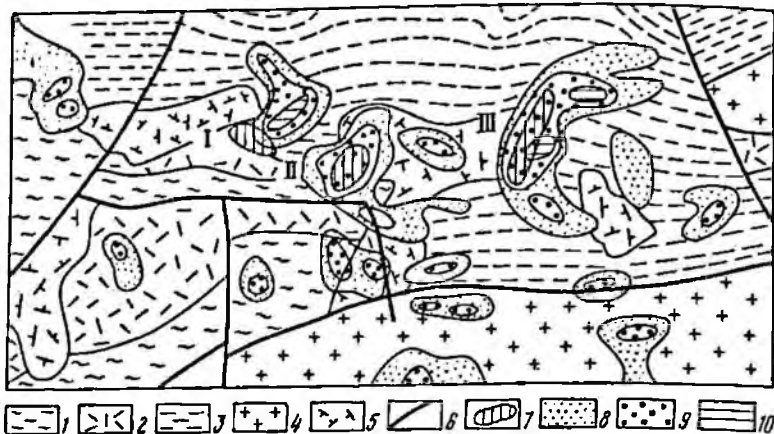


Рис. 59. Вторичные наложенные ореолы рассеяния на закрытой площади [48].

1 — алевролиты, песчаники; 2 — лавы, туфы, туффолесчаники; 3 — известковистые алевролиты, лавы, туфы кислого состава; 4 — граниты; 5 — субвулканические диориты; 6 — разломы; 7 — проекция рудной зоны: I — Северо-Восточного рудопроявления, II — Таловского месторождения, III — Степного месторождения; 8—10 — мультипликативные аномалии Pb · Cu · Zn · Ag · Ba (усл. ед.): 8 — 5—6; 9 — 6—8; 10 — >8

[39]. Во всех случаях следует ориентироваться на ожидаемые в районе конкретные типы полиметаллических месторождений и на рудные элементы их типоморфного комплекса с учетом данных, приведенных в гл. 1. В общем случае мультипликации следует подвергать содержания Pb, Zn, Ag, Cu, иногда Ba, Mo, As, Co. При правильном выборе перечня рудных элементов, содержания которых подвергаются мультипликации, и размеров окна усиление слабых аномалий можно ожидать в  $\sqrt{mn}$  раз, где  $m$  — число мультиплицируемых рудных элементов,  $n$  — число точек в окне [37].

В степных районах Рудного Алтая (РСФСР) литохимические съемки с целью поисков погребенных колчеданно-полиметаллических месторождений проведены в Рубцовском районе на площади 2000 км<sup>2</sup> [37]. Район расположен в зоне южных черноземных степей, луговых черноземов и темно-каштановых степных почв, развитых на дальнеприносных отложениях мощностью 50—100 м. Пробы отбирались с глубины 25—30 см по сети 500×50 или 200×50 м [48]. В результате обработки первичных данных на ЭВМ выявлены четкие аномалии Cu · Zn · Pb · Ag · Ba (рис. 59). Все известные на данной площади месторождения и крупные рудопроявления отмечаются вторичными наложенными ореолами рассеяния. При проверке некоторых из выявленных аномалий глубинными литохимическими съемками установлена пространственная связь с по-

гребенными остаточными ореолами рассеяния в рудоносном фундаменте.

С целью первоочередного осмотра выбираются наиболее протяженные и интенсивные аномалии. Для этого рассматриваются линейные  $M_l$  и площадные  $P_l$  продуктивности, подсчитанные по обычным формулам:

$$M_l = \Delta x \left( \sum_{x=1}^n I_x - nI_{\Phi} \right);$$

$$P_l = l \Delta x \left( \sum_{x=1}^N I_x - NI_{\Phi} \right),$$

где  $l$ ,  $\Delta x$  — расстояния между профилями и между пикетами съемочной сети;  $I_x$ ,  $I_{\Phi}$  — значения комплексного геохимического показателя соответственно в контуре аномалии и за ее пределами;  $n$ ,  $N$  — число точек, вошедших в подсчет, соответственно для линейных и площадных продуктивностей. Геохимический показатель  $I$  представляет собой отношение произведений содержаний типоморфных рудных элементов (Pb, Ag, Cu и т.д.) к содержанию „ландшафтных“ элементов (B, Sr, F и др.). Структура этого показателя предполагает подавление аномалий в области смены ландшафтных условий, когда возможно накопление элементов, как рудных, так и фоновых („ландшафтных“), на геохимических барьерах. С учетом экранирующего влияния перекрывающих отложений ранжирование наложенных ореолов рассеяния следует проводить по величинам эмпирических показателей  $W$ :

$$W_M = M_l h;$$

$$W_P = P_l h,$$

где  $W_M$ ,  $W_P$  — эмпирические показатели соответственно для линейной и площадной продуктивности наложенного ореола рассеяния в единицах геохимического показателя  $I$ ;  $h$  — мощность чехла перекрывающих отложений, т.е. глубина до поверхности рудоносного фундамента или до кровли его древней коры выветривания.

Выявленные наложенные ореолы рассеяния погребенных месторождений после их подтверждения повторно-детализационными и (или) газортутными съемками подлежат оценке с помощью глубинных литохимических съемок по схеме, приведенной в табл. 16 Методики глубинных литохимических съемок при поисках погребенных месторождений достаточно подробно и систематически изложены в методических рекомендациях [24].

Глубинные съемки целесообразно проводить в два приема. По 3–5 профилям через 250–500 м бурятся скважины до представительного горизонта коры выветривания с целью доказательства связи наложенного ореола рассеяния с коренным оруденением. Документация керна этих скважин должна осуществляться с обязательным применением микрохимической реакции на свинец. При наличии положительной

Схема оценки гиперганных литохимических аномалий в закрытых рудных районах

Основные задачи	Состав и последовательность работ	Цель отдельных операций	Оформляемые документы
<b>А. Площадные лито- и атмосфернохимические съемки масштабов</b>			
1. Подтверждения выявленной аномалии тем же методом (литохимическая, газортутная или атмосфернохимическая съемки)	Привязка и отыскание участка $I_{\text{тах}}$ . Повторно-контрольная съемка по первоначальной сети профилей. В зоне максимальных значений геохимического поля детализационные съемки по промежуточным профилям	Уточнение морфологии аномалии и ее показателей ( $I_{\text{тах}}$ , $M_1$ , $P_1$ , $W_M$ , $W_P$ )	$1:100\ 000 - 1:50\ 000$ Контактный снимок с вынесенными магистральями съемочной сети. Схемы пробобора литохимических проб. Карты изоконцентраций мультипликативных показателей $I_x$
2. Анализ типов аномалий (наложенный литохимический ореол, „породные“, „ландшафтные“ техногенные аномалии)	Установление среды развития, литологической и возрастной характеристики пород чехла. Профильное опробование пород чехла. Изучение ландшафтно-геохимических условий и типов концентраций химических элементов на геохимических барьерах	Выяснение природы гиперганных аномалий	Геологическая схема участка с пикетами съемочной сети и точками отбора проб. Ландшафтно-геохимическая схема участка. Предварительная оценка геологической природы аномалии
3. Геологический осмотр выходов пород фундамента*	Геологическая съемка и сборное штупное опробование пород фундамента	Обнаружение геологических признаков, подтверждающих рудную природу аномалий	Геологическая схема участков коренных выходов
4. Подтверждение рудной природы наложенных ореолов рассеяния профильными глубинными съемками	Разбуривание аномалии по 3–5 профилям через 250–500 м (по 5–6 скважин через 50, 100, 200 м). Сплошное литохимическое опробование коры выветривания или коренных пород	Количественная характеристика вторичного остаточного ореола рассеяния в погребенной коре выветривания или (и) коренного оруденения	Карта-схема с профилями буровых скважин. Геологическая документация осадочных пород чехла и фундамента. Геологические разрезы по профилям с ореолами Pb, Zn, Ag ... в увеличенном (в 10 раз) вертикальном масштабе. Параметры остаточного ореола рассеяния $C_{\text{тах}}$ , $M$ и т.д.
5. Уточнения состава и установление предполагаемого генетического типа коренного оруденения	Построение геохимических спектров вторичного ореола рассеяния (коренного оруденения) погребенного месторождения. Ориентировочное определение уровня эрозионного среза	Выдача рекомендаций на проведение глубинной литохимической съемки масштаба 1:25 000	Графики геохимических спектров с оценкой $x \pm s/\sqrt{n}$ . План расположения профилей участка глубинных съемок. Объемы предполагаемых буровых работ
<b>Б. Площадные глубинные литохимические съемки масштаба 1:25 000</b>			
1. Полное оконтуривание вторичного остаточного ореола рассеяния в древней коре выветривания	Площадная глубинная литохимическая съемка по сети 250x50 м с погоризонтным опробованием остаточного ореола рассеяния погребенного месторождения	Получение цифр основных параметров вторичного ореола рассеяния ( $M, P, q, K$ ). Уточнение оси ореола, его морфологии и горизонта $k \rightarrow 1,0$	Журналы документации отбора проб литохимической съемки, моноэлементные карты „разноски“ содержания рудных элементов. Погоризонтные карты изоконцентрат
2. Оценка цифр прогнозных ресурсов металла по геохимическим данным	Оценка уровня эрозионного среза и глубины распространения руд на месторождении с помощью показателей $V_z$ и $K$	Подсчет цифр ресурсов металла категории $P_2$	Рекомендации на проведение детальных работ. Определение места заложения первой наклонной скважины
3. Установления генетического типа и вещественного состава коренного оруденения. Уточнение оценки прогнозных ресурсов	Бурение наклонной скважины глубиной 150–300 м. Опробование руд и рудовмещающих пород	Установление особенностей геохимического спектра, подсчет $M_{P_1}$ , выбор $C_{\text{борт}}$ и $C_{P_1}$ , оценка $\alpha$ . Выдача цифр прогнозных ресурсов категории $P_1$	Цифры параметров оруденения на геологических картах, разрезах, в каталогах и на перфокартах, в сравнение цифр ресурсов категорий $P_2$ и $P_1$ . Планы расположения рекомендуемых разведочных скважин и их проектные разрезы

\*В тех случаях, когда по простиранию выявленных аномалий такие выходы имеются.

реакции расстояние между скважинами необходимо оперативно уменьшить до 50 м.

При положительном результате первых работ — на всей площади выявленного оруденения проводится бурение по сети 250×50 м с целью полного оконтуривания и оценки параметров вторичного остаточного ореола рассеяния в древней коре выветривания. При мощности перекрывающих дальнеприносных отложений менее 50 м глубинные литохимические съемки ведутся шнековыми станками, при большей мощности — самоходными буровыми установками с гидротранспортом керна. В основном бурение по отложениям, перекрывающим кору выветривания, ведется без пробоотбора, далее — со сплошным опробованием. По нескольким скважинам в центре ореола рассеяния во всех случаях целесообразно сплошное геохимическое опробование перекрывающих отложений секциями по 1,5–2 м. При этом следует предвидеть возможность исчезновения с глубиной наложенных ореолов рассеяния, даже отчетливо проявленных на поверхности чехла [37].

Вторичные остаточные ореолы рассеяния полиметаллического оруденения, полностью оконтуренные в древней коре выветривания глубинными литохимическими съемками масштаба 1:25 000, подлежат оценке по общей схеме (см. табл. 16).

#### Литохимические съемки на стадии разведки

Детальные литохимические наземные и подземные съемки обязательны на стадиях предварительной, детальной, эксплуатационной разведки и доразведки любого месторождения. Особенно велика их роль в условиях дефицита разведанных запасов руд. Эти работы проводятся на основе закономерностей формирования первичных ореолов рудных тел и зональности отложения элементов при рудообразовании, рассмотренных в гл. 3. На этих четырех разведочных стадиях геохимические исследования разделяются на два вида — изучение эталонного месторождения и систематическое геохимическое опробование горных выработок и скважин по мере их проходки. Работы первого вида имеют разовый характер, объем их ориентировочно составляет 3–5 тыс. проб, преимущественно отбираемых из дубликатов керновых геологоразведочных проб, хранящихся в ГРП. Второй вид геохимических исследований носит характер непрерывного сопровождения всех горно-буровых работ, включая опробование поисковых, разведочных и горно-подготовительных выработок.

Хотя при отсутствии данных о геохимической зональности эталонных месторождений можно пользоваться обобщенными рядами эндогенной вертикальной зональности для полиметаллических месторождений [19], тщательное дальнейшее геохимическое изучение промышленных месторождений, в том числе с применением программы „Ню-2“, обязательно. Это определяет необходимость постоянного внимания к детальному геохимическому изучению разведанных и эксплуатируемых месторож-

Таблица 17

Параметры колчеданно-полиметаллических месторождений

Месторождения	$\nu = \frac{\text{Hg} \cdot \text{Sb}}{\text{Sn} \cdot \text{Co}}$ для разных $z$			$M_p$ (Pb + Zn), усл. м %
	0,2	0,5	0,8	
Текали	(1,4·10 <sup>3</sup> )	6,6	(3,1·10 <sup>-2</sup> )	3,9
Зырянское	7,5·10 <sup>1</sup>	8,7·10 <sup>-2</sup>	1,0·10 <sup>-4</sup>	1,0
Тишинское	(4,2)	3,9·10 <sup>-1</sup>	3,6·10 <sup>-2</sup>	6,0
Размах для $\nu$ и $M_p$	333	76	360	6

Примечание. В скобках даны значения  $\nu$ , пересчитанные на эталонную модель.

дений различного генетического типа. Первичные данные детального геохимического опробования такого эталонного месторождения показаны на примере одного из разрезов Зырянского месторождения (см. рис. 34). Крутопадающие рудные тела этого месторождения залегают кулисообразно, а геохимическая зональность рудоотложения повторяется дважды, отдельно для верхней и нижней рудной кулисы. В этих условиях при исследовании зональности с помощью программы „Ню-2” особенно важно правильное составление композиций и тщательное осмысление результатов обработки по „нулевому” циклу. Только после рассмотрения данных обработки по нулевому циклу для смежных разведочных профилей можно перейти к отысканию показателей зональности по первому — третьему циклам программы.

Во всех случаях величины геохимических показателей зависят от конкретных особенностей генетического подтипа месторождения (табл. 17). Данные показывают, что для одноименных уровней месторождений разных подтипов величины показателя геохимической зональности  $\nu$  различаются более чем в 300 раз при очень ограниченном изменении продуктивности (Pb + Zn) оруденения (1:6). Для того чтобы определить причину отличия оцениваемого объекта от эталонного месторождения (различие в эрозионном срезе или вследствие изменения генетического подтипа), необходим одновременный учет численных значений  $\nu$ ,  $z$  и абсолютных величин  $M$ .

#### Оценки прогнозных ресурсов свинца и цинка

На всех стадиях поисково-разведочных работ оценка рудных геохимических аномалий завершается подсчетом прогнозных ресурсов металла по категориям достоверности  $P_3$ ,  $P_2$  и  $P_1$ . Общие принципы оценки прогнозных ресурсов при геохимических поисках рассмотрены в предыдущих главах. Основная цель таких оценок — определение целесообраз-

ности и очередности дальнейшего изучения выявленного объекта вплоть до передачи его в предварительную разведку. Повышение надежности и качества геохимических оценок рудных объектов приведет к сокращению непроизводительных затрат на изучение непромышленных рудопроявлений. В последующие работы должны вовлекаться в первую очередь крупные и средние объекты; на ряде мелких объектов в порядке контроля можно ограничиться бурением одиночных скважин.

Подсчеты прогнозных ресурсов свинца и цинка по геохимическим данным имеют большой положительный опыт. Так, на месторождениях Кумадыр и Алайгыр оценки прогнозных ресурсов свинца и цинка полностью совпали с цифрами запасов, утвержденными затем в ГКЗ. В данном случае численное совпадение запасов и прогнозных ресурсов — событие скорее случайное, чем закономерное. Сходимость результатов прогнозных оценок ресурсов по ореолам и потокам рассеяния следует считать хорошей и удовлетворительной, если при разведке месторождения запасы металла оказываются не более чем в два-три раза большими или меньшими ранее названных [19].

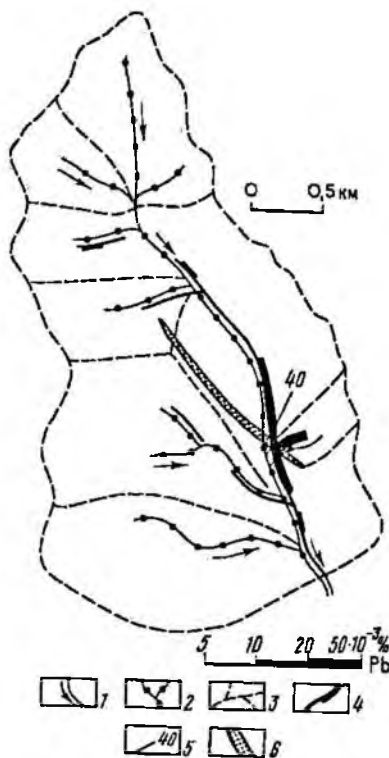
В зависимости от детальности литохимических исследований оценки прогнозных ресурсов полиметаллических объектов имеют различную достоверность. Во всех случаях оценка выявляемых рудопроявлений требует совместного рассмотрения всех имеющихся геологических, геофизических и геохимических данных при тщательном учете морфологии и условий локализации оруденения.

Пример обнаружения и оценки рудных полиметаллических объектов по потокам рассеяния иллюстрирует рис. 60. Аномальный участок, выявленный по данным литохимических съемок масштаба 1:200 000, слагают песчаники и алевролиты триаса, прорванные гранодиоритами мелового возраста. При геологическом осмотре аномалий проведен повторно-контрольный пробоотбор с шагом 250 м, подтвердивший реальность литохимических потоков рассеяния. Осмотр бортов долины с отбором штучных проб обнаружил зону свинцово-цинковой минерализации протяженностью порядка 1000 м, мощностью до 50—60 м. При подсчете продуктивностей потоков рассеяния свинца и цинка имеем  $P'_{Pb} = 1 \cdot 10^5 \text{ м}^2 \%$ ;  $P'_{Zn} = 3,5 \cdot 10^5 \text{ м}^2 \%$ . На основании общих представлений о морфологии выявленного объекта для подсчета прогнозных ресурсов была принята глубина распространения 200 м. С учетом местных значений  $k'$  и  $k$ , отвечающих ландшафтным особенностям участка, прогнозные ресурсы объекта оцениваются по сумме свинца и цинка в 2 млн. т категории  $P_3$ . Эта цифра указывает, что объект представляет практический интерес и должен быть изучен путем проведения литохимических съемок масштаба 1:50 000.

Примером оценки частично погребенных ореолов рассеяния может служить юго-восточный фланг месторождения Беркара (см. рис. 18). Геологическое строение этой части рудного поля характеризуется разви-

Рис. 60. Соотношение между полиметаллической минерализацией и потоком рассеяния свинца в горнорудном районе. По Ю. Н. Николаеву.

1 — направление стока; 2 — точки пробоотбора; 3 — водоразделы; 4 — потоки рассеяния; 5 — максимальные содержания свинца (в  $\mu \cdot 10^{-3} \%$ ); 6 — рудная зона



тием эффузивно-осадочной толщи, в составе которой полиметаллическое оруденение приурочено к карбонатным отложениям фаменского яруса. Погребенные интервалы продуктивного горизонта необходимо учитывать путем введения поправочного множителя  $\delta > 1,0$ , определяющего соотношение между полной протяженностью рудной зоны и той ее частью, которая образует на участке открытые остаточные ореолы рассеяния. В подсчет не следует включать область аномальных содержаний свинца, отвечающую развитию шлейфа ореола на вогнутом южном склоне. Подробно последовательность оценки вторичных ореолов рассеяния с относительно сложной характеристикой, в частности участка Беркара, описана в специальной литературе [39].

Сильное выщелачивание ореолов рассеяния с поверхности или их погребение под чехлом молодых отложений означает, что оконтуривание и оценку следует проводить по данным глубинной литохимической съемки. Вторичные ореолы рассеяния Шубинского месторождения изучались с помощью наземной и глубинной литохимических съемок масштаба 1:10 000. Они приурочены к выходу рудного тела на поверхность в пределах рудолокализирующей структуры северо-западного простирания (рис. 61). В обстановке интенсивного кислого выщелачивания в юго-восточной части площади при мощности элювио-делювия не более 2 м на поверхности формируются значительно ослабленные ореолы рассеяния. В северо-западном фланге в условиях повышенной мощности рыхлых образований (до 5–10 м) рудная зона надежно характеризуется только данными глубинной литохимической съемки, результаты кото-



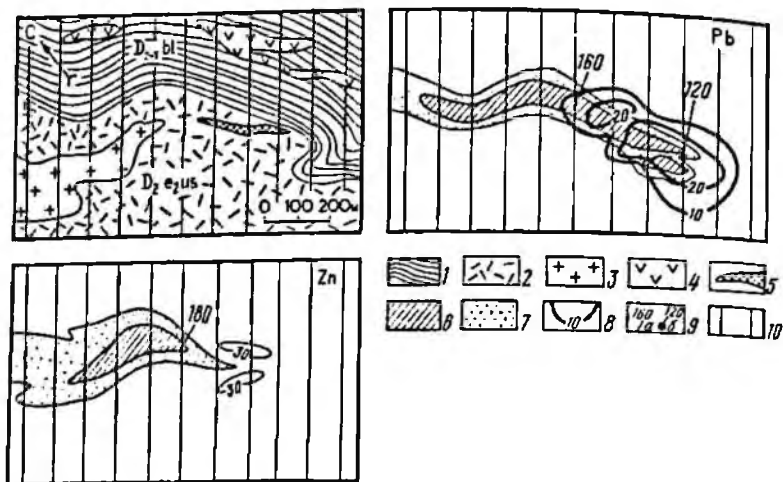


Рис. 61. Геологическая схема и вторичные ореолы рассеяния свинца и цинка Шубинского месторождения. По А.И. Карцову и С.А. Милляеву.

1 — алевролиты, глинистые сланцы; 2 — туфы кислого состава; 3 — кварцевые альбитофиры; 4 — габбро-диабазы; 5 — железная шпала; 6–7 — вторичные ореолы рассеяния по данным глубинной съемки (в  $\mu \cdot 10^{-3} \%$ ): 6 — Pb > 20; Zn > 60; 7 — Pb — 20–10; Zn — 60–30; 8 — то же, по данным наземной литохимической съемки; 9 — максимальные содержания; а — в коре выветривания, б — в элювиоделювии; 10 — профили литохимической съемки

рой были привлечены для оценки прогнозных ресурсов. Последующая доразведка северо-западной части месторождения подтвердила полученную оценку.

Цифры прогнозных ресурсов прямым образом зависят от выбора глубины подсчета распространения руд  $H$ . В общем случае эта задача решается с помощью геохимических показателей зональности, выявляемых по данным исследования эталонных месторождений. На ранних стадиях геологического и геохимического изучения объектов для более надежной их оценки могут быть включены также данные о показателях подобия.

Сопоставление прогнозных ресурсов объектов Текелийского рудного поля проведено по результатам литохимической съемки масштаба 1:10 000 на основе принципа подобия. Все объекты генетически однотипны и относятся к колчеданно-полиметаллической формации. В качестве эталона выбрано месторождение Текели, параметры которого были приняты за единицу. Опыт подтверждает, что для объектов, расположенных в сходных ландшафтно-геохимических условиях и вскрытых эрозийным срезом на уровне продуктивных интервалов, наблюдаются ус-

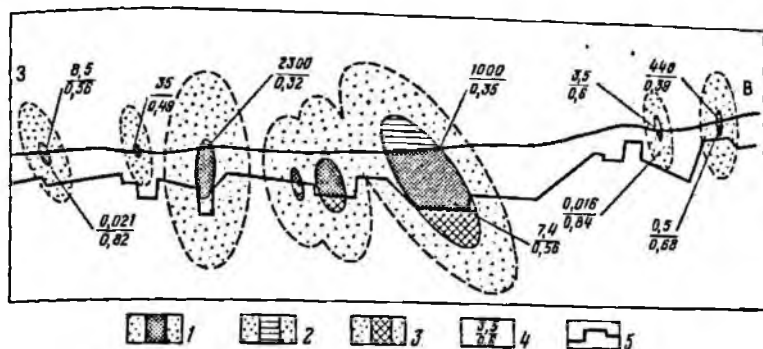


Рис. 62. Модели для фигур подобия Текелийской группы месторождений в плоскости их рудных залежей:

1 — рудное тело и его первичный ореол; 2 — часть рудной залежи, уничтоженная эрозией; 3 — предполагаемое продолжение рудных тел на глубину; 4 — значения геохимического показателя  $\nu = \frac{Ag \cdot Sb}{Cu \cdot Mn}$  (числитель) и оценки  $z$  (знаменатель) в метрике месторождения Текели; 5 — граница разведанной части рудной пачки

тойчивые соотношения между геохимическими параметрами  $M$  и  $P$  и эффективными длинами вторичных ореолов рассеяния  $L$ . Протяженность литохимического ореола рассеяния определяется в контуре изолиний содержания основного рудного элемента на уровне 0,5 ближайшего максимума ( $C_{max}$ ) и не зависит от местного значения коэффициента гипергенного рассеяния  $\sigma$ .

По величинам продуктивностей и протяженности вторичных ореолов рассеяния свинца с помощью показателей подобия  $k$  определены соотношения между полными ресурсами месторождений и рудопроявлений рудного поля. При характеристике ресурсов объекта обязателен учет уровня его эрозионного среза. На рис. 62 приведена продольная проекция рудной зоны месторождений с моделями фигур подобия и оценками  $z$ , полученными по графику  $\nu = \frac{Ag \cdot Sb}{Cu \cdot Mn}$ . Исходя из полученных значений  $k$  и  $z$ , по выражению (12) проведено сопоставление объектов в метрике месторождения Текели (табл. 18).

Сопоставление данных количественной оценки вторичных ореолов рассеяния по коэффициентам подобия с результатами буровых работ на этих объектах показало, что расхождение прогнозных ресурсов с разведанными запасами не превышает двукратной величины, что соответствует условию хорошей сходимости оценок.

По данным литохимических съемок масштаба 1:50 000 в Джунгарском Алатау выявлены вторичные остаточные ореолы рассеяния Pb, Zn, Ag, Ba, Cd, Mo, As, Sb, геологический осмотр которых подтвердил их

Таблица 18  
Характеристика объектов Текелийского рудного поля

Название объекта	K, в долях эталона	z	Q <sub>н</sub> , в долях эталона
Текели	1,0	0,3	1,0
Западно-Текели	0,46	0,2	0,097
Яблоновое	0,49	0,32	0,094
Жальжота	0,15	0,4	0,0022
Александровское	0,14	0,5	0,0014
Восточный Керимбек	0,07	0,5	—
Чартобай	0,08	0,6	—

рудную природу. Оруденение этого участка, названного Коккус, заключено в близширотной линзе баритизированных известняков с крутым падением на север и пологим (порядка 15°) склоном на восток. С севера и юга линза ограничена крутопадающими разломами. Оруденение неравномерное, гнездовое и прожилково-вкрапленного типа. Основные

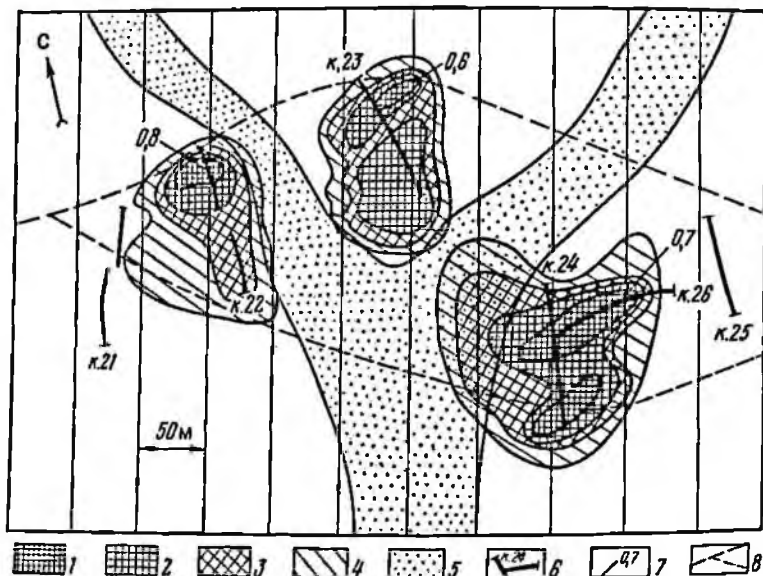


Рис. 63. Результаты литохимической съемки масштаба 1:5000 участка Коккус. По Л. М. Филинскому.

1-4 — вторичные ореолы рассеяния свинца (в %): 1 — > 0,3, 2 — 0,3-0,1, 3 — 0,1-0,03, 4 — 0,03-0,01; 5 — коллювиально-пролювиальные отложения; 6 — каналы и их номера; 7 — максимальные содержания свинца (в %); 8 — тектонические границы рудной зоны

рудные минералы сфалерит, пирит, галенит, пирротин с поверхности выщелочены и замещены скелетным ячеистым лимонитом. По ландшафт-ным условиям участок относится к лесостепной семигумидной зоне с крутосклонным рельефом и частыми скальными выходами коренных пород. Коэффициенты остаточной продуктивности  $k$  в этих ландшафтах оцениваются для свинца  $0,89 \cdot 1,3^{\pm 1}$ , цинка —  $0,74 \cdot 1,1^{\pm 1}$ . В пределах центральной части участка, перекрытой коллювиально-пролювиальными отложениями (рис. 63), можно предполагать наличие интервалов погребенного оруденения, для которых частные значения  $k_i$  и  $P_i$  равны нулю. Найденные значения  $P_p$  до перехода к оценке прогнозных ресурсов подлежали пересчету путем умножения на коэффициент  $\delta$ , равный 1,5.

Сопоставление геохимических спектров выявленного оруденения со спектрами 14 полиметаллических объектов, главным образом месторождений и рудопроявлений Джунгарского Алатау, позволило определить геохимический аналог оцениваемого оруденения. По геологической и геохимической характеристике выявленное оруденение оказалось близко к месторождению Актюбе, расположенному в восточном замыкании Текелийского рудного поля.

С помощью восьми монотонно убывающих геохимических показателей общего вида  $\frac{Ag, Sb, Pb}{Zn, Cu, As, Cd}$ , выявленных при исследовании зональности месторождения Актюбе, был оценен уровень эрозионного среза оруденения Коккус в условной метрике 0,0–1,0. Полученное значение  $\bar{z}$  составило  $\bar{z} \pm s/\sqrt{n} = 0,65 \pm 0,02$ . Приняв параметры месторождения Актюбе за единицу, по величинам  $M$ ,  $\sqrt{P}$  и  $L$  находим среднее значение показателя подобия  $k$  для месторождения Коккус  $\bar{k} \cdot \epsilon^{\pm 1} = 2,3 \cdot 1,2^{\pm 1}$ . Это позволило, исходя из выражения (12), оценить прогнозные ресурсы месторождения Коккус и рекомендовать его для проведения поисково-оценочного бурения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поисковые литохимические съемки в горнорудных районах направлены на выявление месторождений различной формационной принадлежности. В пределах экономически освоенных территорий могут быть выделены рудные районы с известными промышленными типами полиметаллических месторождений. На более ранней стадии геологического и геохимического изучения находятся районы полиметаллических месторождений Сибири, Якутии и Северо-Востока СССР. Полное раскрытие минерально-сырьевых ресурсов этих рудных провинций невозможно без привлечения поисковых и детальных литохимических съемок.

Значительный резерв в геологически менее изученных районах представляют легко открываемые литохимическими съемками по потокам и вторичным ореолам рассеяния месторождения, выведенного на современную дневную поверхность. Прирост запасов в геологически хорошо изученных районах может ожидаться за счет обнаружения слепых и погребенных объектов. Поиски слепых рудных залежей особенно актуальны в пределах рудных полей промышленных полиметаллических месторождений с дефицитом разведанных запасов руд. Они осуществляются путем сплошного геохимического опробования горных выработок и скважин на принципах анализа эндогенной зональности. В закрытых рудных районах поиски погребенных свинцово-цинковых месторождений возможны наземными литохимическими и газовыми съемками по вторичным наложенным ореолам рассеяния. Основное требование к методике поисков по наложенным ореолам рассеяния — повышение точности селективного анализа проб и надежность выделения слабых рудных сигналов, а также их сочетание с глубинными литохимическими съемками.

Важной задачей на ближайшее время остается решение проблемы оценки большого числа литохимических аномалий, выявленных в рудных районах в предыдущие годы. При этом особое внимание заслуживают вторичные ореолы рассеяния, расположенные в неблагоприятных для их формирования обстановках. Поисковые литохимические съемки прошлых лет, не отвечающие современным техническим требованиям, должны быть повторены на новом методическом уровне.

Современная методика обработки результатов поисковых и особенно детальных литохимических съемок основывается на количественной геологической, геохимической и математической интерпретации данных по потокам, вторичным ореолам рассеяния и первичным ореолам с обязательной оценкой выявляемых объектов в цифрах прогнозных ресурсов категорий  $P_3$ ,  $P_2$ ,  $P_1$ . Решение этих задач наилучшим образом осуществляется с помощью ЭВМ на основе автоматизированных информационно-поисковых систем (АИПС) „Геохимические поиски“ и систем по обработке геохимических данных (АСОГД).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антропова Л.В.* Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. Л., Недра, 1975.
2. *Аристов В.В.* Методика геохимических поисков твердых полезных ископаемых. М., Недра, 1984.
3. *Барсуков В.Л., Григорян С.В., Овчинников Л.Н.* Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Наука, 1981.
4. *Воскресенский С.С.* Динамическая геоморфология склонов. М., Изд-во МГУ, 1971.
5. *Вторичные* ореолы рассеяния и их использование при поисках рудных месторождений на территории Сибири. Улан-Удэ, Бурятское книжное издательство, 1973.
6. *Вулканогенные* колчеданно-полиметаллические месторождения (на примере Рудного Алтая). М., Изд-во МГУ, 1978.
7. *Геохимические* критерии поисков скрытого оруденения на примере полиметаллических месторождений хребта Каратау. Составитель А.С. Малахов, Алма-Ата, КазИМС, 1984.
8. *Геохимические* методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1980.
9. *Геохимические* методы поисков месторождений полезных ископаемых. — Тезисы докл. к 3 всесоюз. совещ. Вып. 6. М., ИМГРЗ, 1982.
10. *Геохимические* методы поисков цветных металлов. Новосибирск, Наука, 1979.
11. *Геохимия* ландшафтов рудных провинций/А.И. Перельман, Е.Н. Борисенко, Н.С. Касимов и др. М., Наука, 1982.
12. *Глубинные* геохимические методы поисков погребенных рудных месторождений. Алма-Ата, КазИМС, 1976.
13. *Голева Г.А.* Гидрогеохимия рудных элементов. М., Недра, 1977.
14. *Григорян С.В.* Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке гидротермальных месторождений. — Советская геология, 1973, № 1, с. 15–33.
15. *Григорян С.В., Морозов В.И.* Вторичные литохимические ореолы при поисках скрытого оруденения. М., Наука, 1985.
16. *Григорян С.В., Колин Е.М.* Извлечение химических элементов методом ионоприемника с целью выявления геохимических аномалий. М., ИМГРЗ, 1985.
17. *Досанова Б.А., Колесников В.Н., Воробьев С.А.* Атмохимические поиски погребенных месторождений. — Разведка и охрана недр, 1979, № 1, с. 19–24.
18. *Дубов Р.И.* Количественные исследования геохимических полей для поисков рудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1974.
19. *Инструкция* по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983.
20. *Инструкция* по применению классификации запасов к месторождениям свинцовых и цинковых руд. М., 1983 (ГКЗ СССР).
21. *Квятковский Е.М.* Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. Л., Недра, 1977.
22. *Курс* рудных месторождений/В.И. Смирнов, А.И. Гинзбург, В.М. Григорьев и др. М., Недра, 1981.
23. *Литохимические* поиски рудных месторождений. — Сб. трудов I Сессии Межведомственного совета по научным основам геохимических методов поисков. Алма-Ата, Наука, 1972.
24. *Методические* рекомендации по глубинным литохимическим поискам рудных месторождений. Составитель В.А. Бугров. М., ВНИИЗарубежгеология, 1984.

25. Мясников И.Ф. Поиски погребенных месторождений по вторичным ореолам рассеяния. — Разведка и охрана недр, 1979, № 2, с. 17–22.
26. Новоляниногорское колчеданно-полиметаллическое месторождение на Рудном Алтае/Г.С. Январев, А.М. Кудряшов, Ю.Ф. Олейник и др. — Геол. рудн. месторождений, 1984, № 4, с. 14–26.
27. Перальман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М., Недра, 1972.
28. Пугулько В.М. Вторичные ореолы рассеяния в криолитозоне. Л., Недра, 1977.
29. Поликарпочкин В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск, Наука, 1976.
30. Применение геохимических методов поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983.
31. Проблемы генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Алма-Ата, Наука, 1977.
32. Рудные месторождения СССР/Под ред. В.И. Смирнова, Т.2. М., Недра, 1978.
33. Рысс Ю.С. Геоэлектрохимические методы разведки. Л., Недра, 1983.
34. Свет Ю.Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. М., Наука, 1982.
35. Сяфронев Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., Недра, 1971.
36. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. 4е изд. М., Недра, 1982.
37. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1985.
38. Соловов А.П., Досанов Б.А., Кошелева И.А. Анализ результатов литохимических съемок при прогнозно-металлогенических исследованиях. — Вестн. МГУ, 1970, сер. IV, геология, № 4, с. 39–55.
39. Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Сб. задач. М., Изд-во МГУ, 1985. —
40. Соловов А.П., Шваров Ю.В. Оценка оруденения по литохимическим потокам рассеяния. — Разведка и охрана недр, 1980, № 1, с. 25–30.
41. Состояние и задачи геохимических поисков рудных месторождений в Казахстане. Алма-Ата, КазИМС, 1981.
42. Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов/А.И. Кривцов, И.З. Самонов, Е.И. Филатов и др. М., Недра, 1985.
43. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1980.
44. Теоретические аспекты миграции элементов-индикаторов рудных месторождений и математические методы обработки геохимической информации. Ч. II. Примеры обнаружения рудных тел и месторождений с помощью геохимических методов. М., ИМГРЭ, 1974.
45. Теоретические основы геохимических методов поисков слепых рудных тел/А.П. Соловов, А.В. Гаранин, В.С. Голубев и др. — В кн.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. Иркутск, 1971, с. 245–297.
46. Трофимов Н.Н., Рычков А.И. Геохимические поля элементов широкого рассеяния и поиски глубокозалегающих рудных месторождений. М., Недра, 1979.
47. Фурсов В.З. Газортутный метод поисков месторождений полезных ископаемых. М., Наука, 1983.
48. Харин Г.И., Мясников И.Ф. Геологическая и экономическая эффективность литохимических методов поисков. — Советская геология, 1979, № 5, с. 94–99.
49. Cox R., Curtis R. The discovery of the Lady Loretta zinc-lead-silver deposit, Northwest Queensland, Australia. A geochemical exploration case history. J. Geochem. Explor., 1977, N 8, p. 189–202.
50. Morrissey C.J., Romer D. M. Mineral exploration in glaciated regions of Ireland. Prospecting in areas of glacial terrain. London, IMM, 1973, p. 45–53.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Глава 1. Геологическая и геохимическая характеристика полиметаллических месторождений .....	5
Особенности геологического строения месторождений .....	5
Геохимическая характеристика полиметаллических месторождений .....	11
Глава 2. Вторичные ореолы и потоки рассеяния полиметаллических месторождений .....	23
Формирование и количественная интерпретация литохимических потоков рассеяния .....	24
Особенности развития и параметры вторичных остаточных ореолов рассеяния .....	35
Поисково-геохимические особенности вторичных наложенных и погребенных остаточных ореолов рассеяния в закрытых рудных районах .....	70
Глава 3. Первичные ореолы и геохимическая зональность полиметаллических месторождений .....	87
Общая характеристика и принципы исследования зональности рудных месторождений .....	87
Геохимическая зональность полиметаллических месторождений .....	96
Колчеданно-полиметаллические месторождения .....	97
Стратиформные свинцово-цинковые месторождения .....	119
Скарново-полиметаллические месторождения .....	126
Жильные свинцово-цинковые месторождения .....	132
Геохимические критерии оценки масштаба полиметаллического оруденения по данным анализа эндогенной зональности .....	134
Глава 4. Методика литохимических поисков и оценки полиметаллических месторождений .....	144
Опыт литохимических поисков полиметаллических месторождений .....	145
Последовательность литохимических съемок в рудных районах .....	152
Региональные съемки .....	153
Поисковые и поисково-оценочные работы .....	158
Литохимические съемки на стадии разведки .....	172
Оценки прогнозных ресурсов свинца и цинка .....	173
Заключение .....	180
Список литературы .....	181



**Миляев Сергей Анатольевич**

**ЛИТОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Редактор издательства А.М. Антокольская*  
*Обложка художника К.В. Голикова*  
*Художественный редактор Г.Н. Юрчевская*  
*Технический редактор Н.С. Анашкина*  
*Корректор Л.В. Сметанина*  
*Оператор О.М. Карabanова*  
ИБ № 6800. Производственное издание

---

Подписано в печать 21.12.87. Т-24904. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 1.  
Набор выполнен на наборно-пишущей машине. Гарнитура „Универс“. Печать  
офсетная. Усл.печ.л. 10,69 Усл.кр.-отт. 10,92 Уч.-изд.л. 13,60. Тираж 1460 экз.  
Заказ 411 /993-1. Цена 70 коп.

---

Ордена „Знак Почета“ издательство „Недра“,  
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 9 Союзполиграфпрома при Государственном коми-  
тета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.  
109033, Москва Ж-33, Володавская, 40.

70 коп

НЕДРА