Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIII, вып. 2, 1962 г.

ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ СВИНЦА И ЦИНКА ОДНОГО ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛИМЕТАЛЛОВ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

И. Н. Крицук

Успешное использование литохимических методов при поисках рудных месторождений по их вторичным ореолам и потокам рассеяния, решение вопроса о целесообразности проведения того или иного типа съемки (литохимической или гидрохимической) или комплексного их использования при поисковых работах определенного масштаба — все это требует глубокого анализа путей и условий миграции различных элементов в элювиально-делювиальных отложениях.

На примере одного из свинцово-цинковых месторождений рассмотрим условия образования элювиально-делювиальных ореолов рассеяния свинца и цинка, пути миграции этих элементов и возможные причины их концентрации в рыхлых поверхностных отложениях.

Месторождение расположено в юго-западной части Восточного Забайкалья. Климат района резко континентальный. Максимальная годовая амплитуда колебаний температуры воздуха 85,1°. Средняя температура июля +17,9°, средняя температура января —24,3°. Характерно, что в течение года выпадает мало осадков (до 300 *мм*) и незначительна инфильтрация, составляющая 10—12%.

Район характеризуется активным испарением, воды приобретают несколько повышенную минерализацию.

В составе катионов вод (по В. А. Кротовой) преобладает Ca, затем Mg, а в составе анионов — CO_3, Cl и SO_4. Жесткость воды колеблется от 5 до 40°; Na и K присутствуют в незначительных количествах.

На месторождении проводилась металлометрическая съемка масштаба 1 : 2000 и детально изучался гранулометрический состав элювиально-делювиальных отложений, определялось содержание свинца и цинка в различных классах литохимических проб, проводился минералогический анализ рыхлых отложений и т. д.

Месторождение связано с крупным меридиональным разломом, в висячем боку которого развиты сланцы ононской серии $S_2 — C_1$ [8]. Сланцы представлены кварц-серицитовыми, серицит-хлорит-кварцевыми, углисто-серицито-кварцевыми и кварц-хлорит-углистыми разностями. В лежачем боку разлома (на юге участка) развиты нерасчлененные песчано-сланцевые отложения перми (P). В метаморфических сланцах ононской серии четко выражены трещины оперения основного разлома. Оруденение приурочено как к основному разлому, так и к его трещинам оперения (рис. 1 и 2).

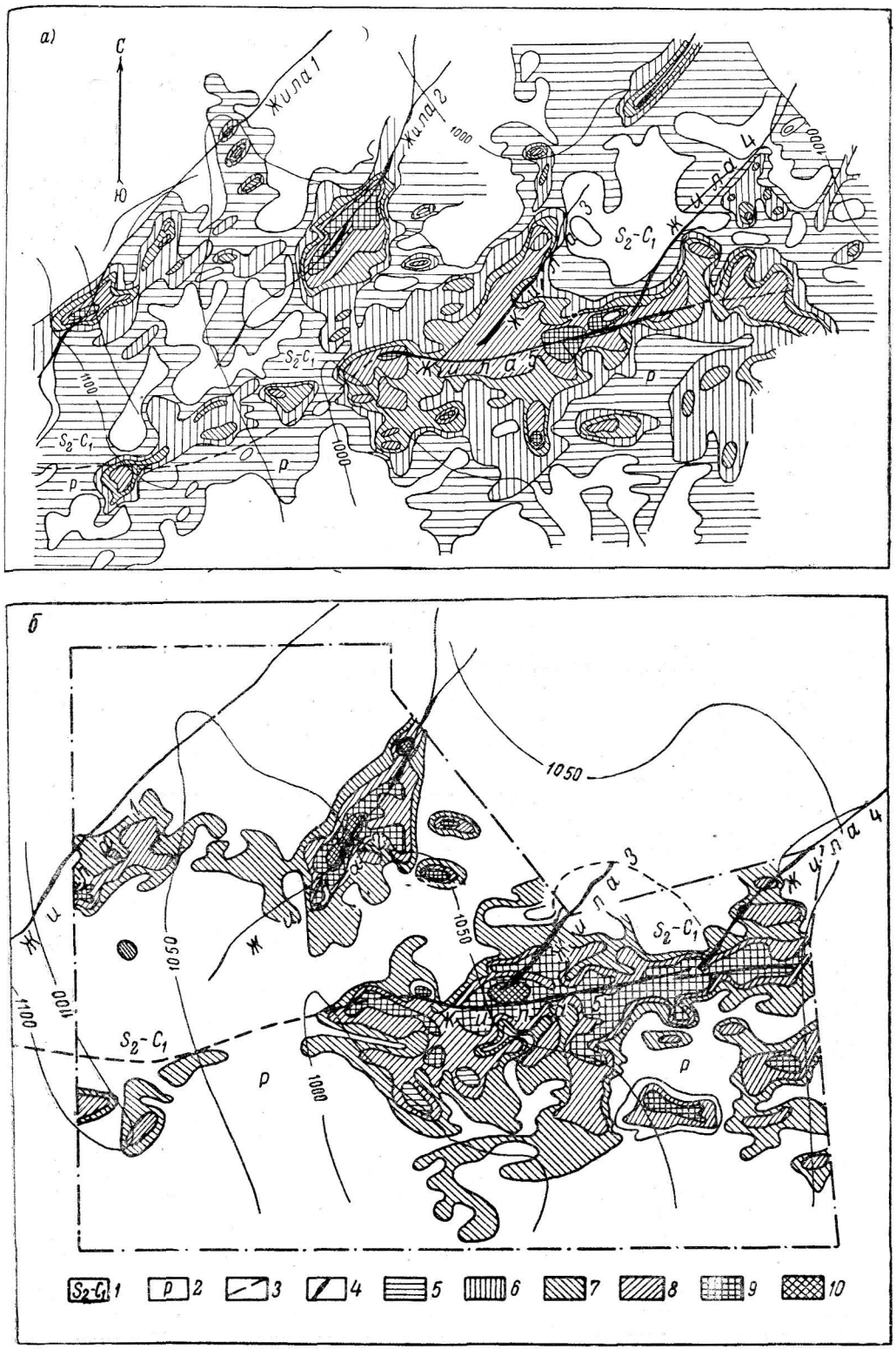


Рис. 1. Ореолы рассеяния свинца (*а*) и цинка (*б*) по А. Г. Адрианову и Е. М. Квятковскому:

1 — сланцы ононской серии S_2—C_1; *2* — песчано-сланцевые отложения перми; *3* — главный разлом; *4* — рудные жилы; содержание свинца и цинка в элювии и делювии: *5* — от 0,0011 до 0,003%; *6* — от 0,003 до 0,01; *7* — от 0,01 до 0,03; *8* — от 0,03 до 0,1; *9* — от 0,1 до 0,3; *10* — от 0,3 до 1,0

Рудные тела представлены серией кулисообразных жил, залегающих в зонах дробления. Мощность рудных тел, включая оруденелые боковые породы, достигает иногда 12 *м*, обычно же не превышает 1,5 *м*. Длина рудных тел до 550 *м*. Руды до глубины 50 *м* почти полностью окислены.

Минеральный состав окисленных руд: англезит, смитсонит, церуссит, скородит, различные охры и гидроокислы железа. Первичные руды сложены галенитом, сфалеритом, арсенопиритом, пиритом, пирротином, халькопиритом, магнетитом, марказитом и др. Основной минерал мас-

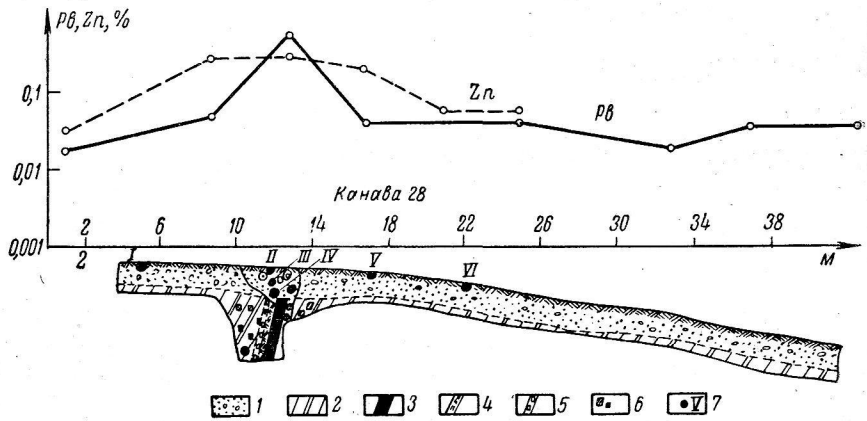


Рис. 2. Ореолы рассеяния свинца и цинка над жилой *2*:

1 — рыхлые элювиально-делювиальные отложения; *2* — сланцы ононской серии S_2—C_1; *3* — рудные жилы; *4* — зона хлоритизации; *5* — зона окварцевания; *6* — вкрапленность сульфидов; *7* — места взятия проб большого веса (*I* — *VI*) для изучения гранулометрического состава, минералогического анализа рыхлых отложений и исследования распределения свинца и цинка в различных классах мелкой фракции рыхлых элювиально-делювиальных отложений

сивных руд — галенит, — являясь минералом более поздним по времени образования, чем сфалерит, представляет собой агрегат зерен величиной от 0,15 до 1,5 *мм*, форма зерен неправильная. Сфалерит — один из главных минералов руд, представлен зернами неправильной формы диаметром до 1,5 *мм*.

Формирование рудных жил месторождения происходило в четыре стадии: дорудную — кварцевую, раннюю — пирито-арсенопиритовую, среднюю — сфалерито-галенитовую и позднюю — кварцево-карбонатную. В жиле *1* проявились лишь две последние стадии рудообразования. Рудная жила *2* сложена главным образом пирито-арсенопиритовой рудой со сфалеритом. Для рудной жилы *5* характерно сильное окварцевание, она представляет собой как бы вытянутую в широтном направлении зону штокверковых руд.

Отношение $\frac{Pb}{Zn}$ для окисленных и первичных руд жил *1*—*5* следующее:

	1	*2*	*3*	*4*	*5*
Окисленные руды (на поверхности)	10,6	8,1	10	17,1	6,1
Сульфидные руды	2,8	1,8	—	1,1	1,2

Как видно из приведенных данных, содержание цинка в окисленных рудах всех рудных тел значительно меньше, чем свинца, что свидетельствует о значительном выносе цинка из зоны окисления. Интенсивное окисление и вынос цинка из жилы *4* можно объяснить значительной трещиноватостью вмещающих пород.

Мощность рыхлых элювиально-делювиальных отложений на месторождении составляет обычно 1—3 *м*.

Гранулометрический состав мелкой фракции (<5 *мм*) рыхлых отложений относительно прост (рис. 3). Наиболее богатыми по весу являются фракции 0,03—0,3 *мм* и фракция 2—5 *мм*. Грубые классы повсеместно заражены более мелкими, что связано с недостаточно тщательным гранулометрическим анализом. В крупных классах (>1 *мм*) основную массу составляют обломки пород, представленные измененными, частично окатанными песчаниками и сланцами.

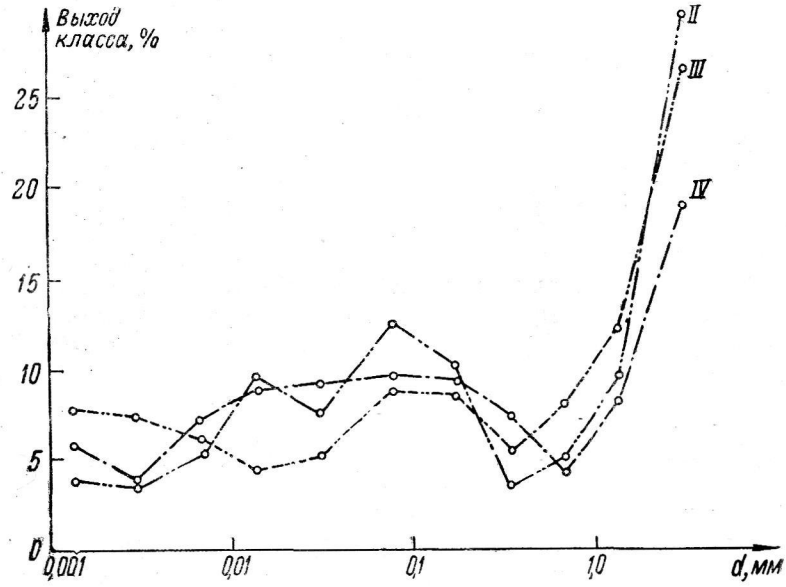


Рис. 3. Гранулометрический состав мелкой фракции рыхлых элювиально-делювиальных отложений.
Глубина отбора пробы, *м*: *II* — 0,2; *III* — 1; *IV* — 2

Средние классы (0,05—0,5 *мм*) представлены главным образом отдельными зернами кварца, полевого шпата, плюмбоярозита, гидроокислов железа, церуссита, магнетита, гидроокислов марганца. Тонкие классы (< 0,01 *мм*) представлены частицами монтмориллонита, каолинита, различных слюд, гидроокислов железа и марганца, гематита, гетита, кварца, в меньшей степени карбонатов свинца и цинка.

Интересно также присутствие гипса в пробе, отобранной с небольшой глубины (на границе — зона окисления—элювиально-делювиальные образования), и наличие единичных зерен кальцита непосредственно в подпочвенном слое. Однако анализы на карбонатность показали полное отсутствие $CaCO_3$ в пробах при чувствительности анализа 0,1% $CaCO_3$.

Кроме определения отдельных минеральных зерен проводился более подробный минералогический анализ класса 0,25—0,5 *мм* с разделением на пять фракций по магнитности, каждая из которых разделялась на две фракции по удельному весу. По данным спектрального анализа, для этого класса характерно обогащение свинцом и цинком тяжелой среднемагнитной фракции и, наоборот, некоторое обеднение (примерно в три раза) последними легкой немагнитной фракции.

Как правило, сфалерит, так же как и первичные и вторичные минералы свинца, связывается с тяжелой слабо- или среднемагнитной

фракцией, а для легкой слабомагнитной и немагнитной фракций характерно присутствие гидроокислов железа и марганца.

По данным спектрального анализа, марганца содержится также больше в легкой фракции, чем в тяжелой. Содержание цинка в легкой фракции, вероятно, следует связывать с цинком, адсорбированным гидроокислами марганца и глинистым веществом [14]. Как указывает И. И. Гинзбург, монтмориллонитовые, бейделлитовые глины поглощают цинк, медь, редкие земли и другие элементы; соединения марганца адсорбируют, а иногда и концентрируют ряд металлов (Zn, Pb, Cu, Co, Ni, V, W, As, Mo и др. [3]). Результаты металлометрической съемки представлены в виде планов изоконцентраций свинца на всей площади месторождения и плана изоконцентраций цинка на части площади (см. рис. 1). Все жилы месторождения сопровождаются ореолами рассеяния свинца. Смещение ореолов обычно не превышает 20 *м*, так как рудные тела располагаются, как правило, перпендикулярно изогипсам рельефа.

Минимальные содержания свинца в ореолах 0,003—0,001%, максимальные содержания 1,0% — в эпицентре ореола.

В процессе работы подсчитывались отношения суммы металла в ореоле к сумме металла в рудном теле — коэффициенты «корреляции». Коэффициенты корреляции[1] q_s для различных рудных жил по свинцу очень близки один другому (см. таблицу), что свидетельствует об идентичности условий образования делювиальных ореолов рассеяния свинца для всех жил месторождения.

Площадные коэффициенты корреляции по свинцу и цинку

Рудные жилы	q_s	
	Zn	Pb
1	5,8	0,58
2	4,5	0,58
3	—	0,58
5 (западный фланг)		0,64
5 (восточный фланг) вместе с южным флангом жил *3* и *4*	16,1	0,59
Среднее		0,60

Содержание свинца в различных классах мелкой фракции делювия показано на рис. 4. Среднее содержание свинца в делювии примерно одинаково для классов мелкой фракции и немного уменьшается в тонких классах. Это объясняется составом тонких классов (главным образом мельчайшие глинистые частицы), относительно слабой миграционной способностью свинца и возможным выносом свинца из тонких фракций. Содержание металла в эпицентре ореола резко возрастает с глубиной (см. рис. 4) и уменьшается вверх по склону от выхода рудного тела на поверхность скорее, чем вниз по склону (см. рис. 2, 4). Величина коэффициента корреляции указывает на относительное обеднение свинцом рыхлых элювиально-делювиальных отложений.

Учитывая также относительно слабую миграционную способность свинца в зоне гипергенеза, можно, по-видимому, считать, что основным

[1] Коэффициент корреляции

$$q_s = \frac{\sum C_x \Delta S}{S_p C_p}, \qquad (1)$$

где C_x — аномальное содержание металла в ореоле, %;
C_p — содержание металла в рудном теле, %;
ΔS — площадь, охарактеризованная одной пробой (площадная густота сети литохимической съемки), $м^2$;
S_p — площадь выхода рудного тела под наносы, $м^2$.

процессом при формировании ореолов рассеяния свинца в элювиально-делювиальных отложениях является механическое рассеяние. Однако и для свинца — главным образом для тонких классов рыхлых отложений (< 0,01 *мм*) — характерно рассеяние в солевой фазе. На рис. 5 показано распределение отношения свинца к цинку в мелкой фракции рыхлых элювиально-делювиальных отложений. Как правило, для всех

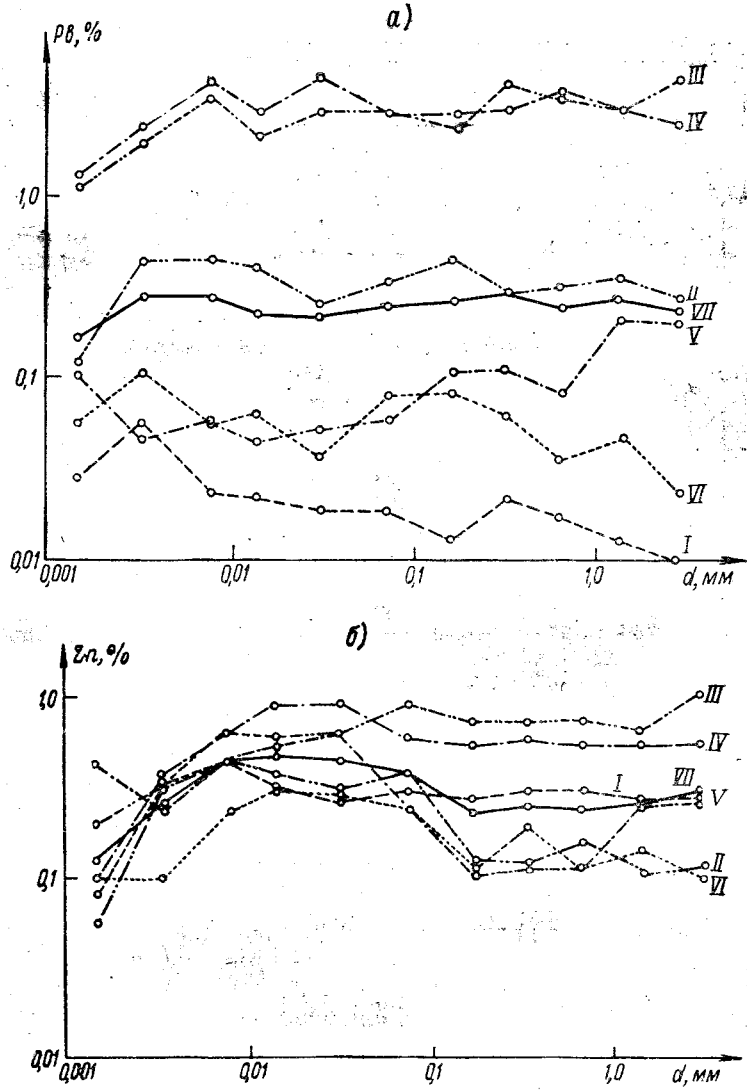


Рис. 4. Содержание свинца (*а*) и цинка (*б*) в различных классах мелкой фракции элювиально-делювиальных отложений. Глубина отбора пробы, *м*: *I*, *II*, *V*, *VI* — 0,2 (из подпочвенного слоя); *III* — 1; *IV* — 2; *VII* — среднее содержание свинца и цинка (по шести пробам) в различных классах мелкой фракции рыхлых отложений

проб отношение свинца к цинку возрастает для тонких классов, что свидетельствует об относительном (по сравнению с цинком) обогащении свинцом тонких классов, а это возможно лишь при допущении элементов солевого рассеяния для свинца.

Литохимическая металлометрическая съемка на цинк имеется только для части площади (см. рис. 1). Чувствительность спектрального анализа на цинк низка — 0,03%. Рудные жилы также хорошо фиксируются ореолами цинка. Содержание цинка в эпицентрах ореола достигает 1%.

Резкое различие значений коэффициента корреляции (см. таблицу) для отдельных рудных тел можно частично объяснить недостатком опробования по цинку, а также возможно более интенсивным выносом цинка из рудного тела *4*, за счет чего происходило обогащение цинком ореола над южным флангом жил *3*, *4* и *5* (см. ниже).

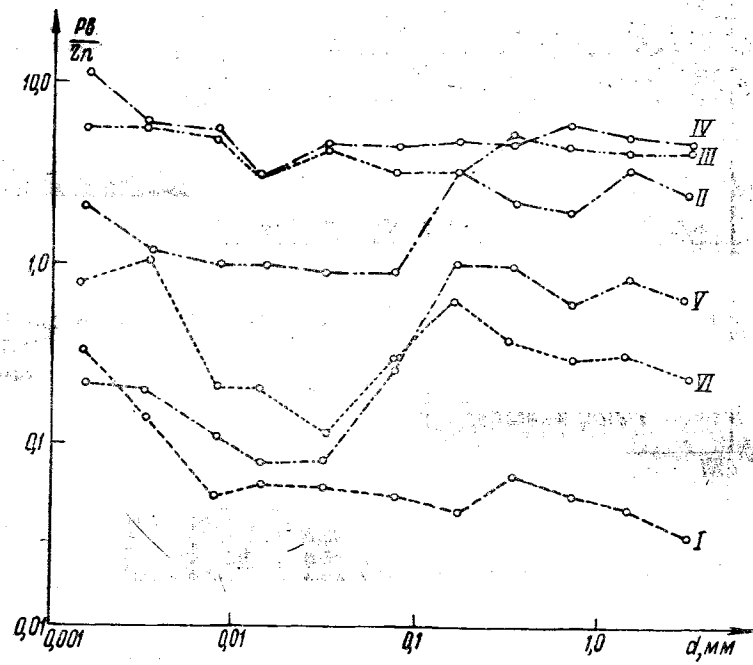


Рис. 5. Отношение $\frac{Pb}{Zn}$ в различных классах мелкой фракции элювиально-делювиальных отложений.
Глубина отбора пробы, *м*: *I*, *II*, *V*, *VI* — 0,2 (из подпочвенного слоя); *III* — 1; *IV* — 2

Такое расхождение в величинах коэффициентов корреляции, а также сама величина коэффициентов (для свинца примерно в 10 раз меньше, чем для цинка) свидетельствуют о преобладающем значении процессов солевого рассеяния при формировании ореолов цинка в рассматриваемых условиях.

Содержание цинка в различных классах мелкой фракции элювиально-делювиальных отложений также не столь равномерно, как свинца. Отчетливо видно обогащение цинком классов 0,125—0,01 *мм*, примерно равные содержания его в грубых классах и резкое уменьшение в самых тонких[1] (см. рис. 4). Особенно четко эта закономерность отмечается для проб, отобранных из верхней части элювиально-делювиальных отложений (непосредственно подпочвенного слоя). Интересно отметить, что сходные результаты получены В. В. Добровольским при

[1] Объяснить это выщелачиваемостью цинка из тонких фракций при гранулометрическом анализе (по методу Сабанина) нельзя. Процент выщелачиваемости цинка, определяемый при извлечении водных вытяжек, составляет 0,5—1,3 от общего содержания цинка в пробе.

изучении распределения цинка в четвертичных отложениях Прибалхашья [5].

Процесс накопления цинка в рыхлых отложениях нельзя рассматривать вне связи с формированием самих рыхлых отложений. Представим себе процесс выветривания и образования рыхлых элювиально-делювиальных отложений [7]:

1. Первая стадия соответствует накоплению продуктов грубого механического разрушения, которые образуются не без влияния биогенных процессов. Эта стадия по времени, вероятно, несравненно менее длительна, чем последующие, и быстро переходит во вторую стадию, так как уже с самого начала в ней происходит не только физическое, но химическое и биохимическое выветривание.

2. Вторая стадия соответствует моменту удаления преимущественно соединений серы. Реакция среды остается, по-видимому, щелочной или, в крайнем случае, нейтральной. Для этой стадии характерно образование глинистых минералов типа монтмориллонита [1, 10]. В рассматриваемом случае щелочность среды подтверждается наличием в рыхлых элювиально-делювиальных отложениях плюмбоярозита (который, как известно, выпадает из растворов при pH 7—8 [2]). В этот период, отмеченный щелочной или нейтральной реакциями среды, в рыхлых элювиально-делювиальных отложениях выпадали, вероятно, из коллоидных растворов и гидроокислы марганца [13], насыщенные катионами цинка. Характерными для этой стадии развития являются гидроокислы железа. При этом грунтовыми водами в области развития филлитов выносятся следующие (по Кларку) элементы:

SiO_2	CO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na	K	R_2O_3
14,94	35,9	6,45	10,35	11,91	5,02	11,2	4,39	Следы

Как уже отмечалось, для юго-западной части Восточного Забайкалья, где развиты щелочные элювиальные почвы, характерно преобладание в грунтовых водах катионов Ca и Mg и анионов CO_3, в значительно меньшей степени Cl и SO_4 (по В. Г. Кротовой).

В процессе формирования рыхлых отложений и зоны окисления месторождения сульфиды цинка окислялись и цинк в виде кислых растворов вместе с коллоидными растворами двуокиси марганца, окислов железа, кремния, алюминия и других поднимался вверх вследствие капиллярного поднятия и диффузии. Капиллярное поднятие, вероятно, имело основное значение, так как район характеризуется повышенным испарением. С другой стороны, юго-западная часть Восточного Забайкалья — район континентального климата со значительным промерзанием грунтов в осенне-зимнее время, что также связано с капиллярным поднятием влаги к фронту промерзания.

Попадая в щелочную среду, реагируя с катионами цинка, отрицательные коллоиды марганца выпадали из растворов как гидроокислы марганца в виде псиломелана и других минералов, образуя землистые разности, корочки и пр. При гранулометрическом анализе рыхлых отложений эта группа минералов попадает в классы 0,005—0,125 *мм*, увеличивая в последних содержание цинка в 3—10 раз. Несомненно, этот процесс влияет в какой-то степени и на более крупные фракции (от 0,125 до 5 *мм*), но не является основным.

Процессы накопления цинка, связанные с марганцовистыми минералами, более широко развиты в верхних частях рыхлых отложений, что особенно хорошо видно при сопоставлении отношений $\frac{Pb}{Zn}$ для нижних и более высоких горизонтов рыхлых отложений (см. рис. 5). Это явление можно объяснить связью марганца с биогенными процессами в верхних горизонтах, а также слабой инфильтрацией атмосфер-

ных осадков. Во время ливневых дождей, выпадающих главным образом в конце июля — начале августа, дождевая влага не успевает проникнуть на достаточную глубину и начинает интенсивно испаряться в верхних частях разреза. Гидроокислы железа и марганца выпадают из растворов, обогащая самые верхние горизонты.

Кроме коллоидных растворов марганца, вероятно, цинк адсорбируется и глинистыми коллоидами. Однако содержание цинка в глинистых фракциях значительно меньше, что можно объяснить как меньшей адсорбционной способностью глинистых масс, так и менее прочной связью цинка в глинистых массах, чем в гидроокислах марганца [15].

Таким образом, на рассматриваемом месторождении для цинка фиксируются три основных процесса при формировании сложных вторичных ореолов рассеяния в элювиально-делювиальных отложениях:

1. Механическое рассеяние труднорастворимых цинковых минералов.

2. Капиллярное поднятие и диффузия коллоидных и истинных растворов цинка с последующим выпадением из них минералов, несущих цинк. Благодаря этим двум процессам цинк накапливается в рыхлых элювиально-делювиальных отложениях.

3. Вынос цинка из рыхлых элювиально-делювиальных отложений. Этот процесс, вероятно, имеет подчиненное значение прежде всего в силу малой инфильтрации поверхностных вод, а во-вторых, в связи со слабым развитием гумусового слоя, что создает щелочной или нейтральный состав вод, циркулирующих сверху вниз. Следует учесть, кроме того, ливневый характер осадков, главная часть которых выпадает в июле—августе, и характер склонов, что ведет главным образом к сносу тонких фракций вдоль склона, а не к проникновению вод вглубь.

Таким образом, в данном случае накопление цинка в рыхлых элювиально-делювиальных отложениях будет превалировать над выносом. Аналогичное явление для меди (которая является также одним из наиболее подвижных металлов в зоне гипергенеза) наблюдал Д. Н. Сафронов на четырех месторождениях медных колчеданов на юге Урала. Обогащение медью горизонтов *A* и *B* почвы по сравнению с подстилающими породами и обеднение свинцом этих горизонтов для Успенского медного месторождения наблюдали И. И. Гинзбург, К. М. Муканов, Н. П. Полузеров [4], что также подтверждает возможность обогащения медью верхних горизонтов рыхлых отложений и в условиях Центрального Казахстана.

Процессы капиллярного подъема и диффузии, в рассматриваемом случае имеющие важнейшее значение в формировании вторичных ореолов рассеяния цинка, не являются, однако, универсальными. Как известно, в процессе формирования зоны окисления цинк выносится в боковые породы и нередко создает богатые цинковые руды, переотложенные вблизи свинцовых [12]. Это явление, как правило, можно наблюдать там, где вмещающими оруденение породами являются известняки, однако в какой-то степени оно развито, вероятно, и на рассматриваемом месторождении. Опробование, проведенное только в зоне свинцового оруденения, не дает возможности учесть рассеянный в боковых породах цинк, который также поступает в ореол рассеяния. Поэтому значения коэффициентов корреляции по цинку, как уже указывалось, значительно завышаются. Характерным примером может служить свинцово-цинковое Северо-Акатуевское месторождение, залегающее главным образом в карбонатных породах. Коэффициенты корреляции по цинку там также примерно в восемь раз превышают коэффициенты корреляции по свинцу. Отношение же свинца к цинку внутри

контура промышленных свинцовых руд составляет примерно 8,5, а вне контура промышленных руд свинца 0,41, что свидетельствует о разделении свинца и цинка в процессе формирования зоны окисления. Впоследствии же опробование, проведенное главным образом в пределах контура промышленных свинцовых руд, не учитывало содержания цинка во вмещающих породах. Используя имеющиеся данные по опробованию при подсчете q_s, нами заранее уменьшается сумма металла в рудном теле $S_p C_p$ и увеличивается значение коэффициента корреляции.

Выводы

В южной части Восточного Забайкалья в щелочных элювиальных почвах над полиметаллическим месторождением с хорошо проработанной зоной окисления (до глубины 50 *м*) образуются обычно устойчивые механические ореолы свинца и сложные солевые ореолы цинка.

В этих условиях можно использовать коэффициенты корреляции по свинцу для предварительных подсчетов количества металла (квадратные метры на процент содержания) в верхних частях рудных тел, выходящих под наносы. В связи со сложностью процессов образования ореолов цинка, а также частой недоопробованностью по цинку рудных выходов трудно использовать для этих целей коэффициенты корреляции по цинку.

Детальное изучение ореолов рассеяния цинка наряду с изучением ореолов рассеяния свинца позволит более отчетливо представить процессы рассеивания и накопления металлов в рыхлых отложениях. Необходимо также комплексное изучение коренных пород, рыхлых элювиально-делювиальных отложений, почв, гумуса и вод с целью изучения процессов выноса и накопления металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айдиньян Р. Х. Обмен веществ и образование минеральных коллоидов на первых стадиях почвообразования на массивных кристаллических породах. ДАН СССР. Новая серия, 1949, т. LXVII, № 4.
2. Акопян Е. Минералогия зоны окисления главнейших медно-молибденовых месторождений Армении. Изд-во АН СССР, 1960.
3. Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.
4. Гинзбург И. И., Муканов К. М., Полузеров Н. П. Медь и свинец в почвах Успенского медного месторождения в Центральном Казахстане. «Геохимия», 1960, № 4.
5. Добровольский В. В. Типоморфные зональные проявления гипергенеза и их геохимическое значение. Тр. Междунар. геол. конгр. XXI сессия. Госгеолтехиздат, 1960.
6. Перельман А. И., Сауков А. А. Геохимические основы поисков рудных месторождений. Сб. «Геохимические поиски рудных месторождений». Госгеолтехиздат, 1957.
7. Полынов Б. Б. Избранные труды. Изд-во АН СССР, 1956.
8. Рудакова Ж. Н. Куруптыкенское полиметаллическое месторождение в Забайкалье. «Советская геология», 1960, № 11.
9. Сафронов Н. И. К вопросу об ореолах рассеяния. Проблемы советской геологии, 1936, т. VI.
10. Седлецкий И. Д. Генезис монтмориллонита и каолинита и условия их совместного нахождения в коллоидах почв и глин. ДАН СССР. Новая серия, т. XXII, № 8, 1939.
11. Соловов А. П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Изд-во АН Каз. ССР, 1959.
12. Татаринов П. М. Условия образования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1955.
13. Ферсман А. Е. Избранные труды, т. II. Изд-во АН СССР, 1953.
14. Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. Изд-во АН СССР, 1955.
15. Эльгабали М. М. Механизм связывания цинка коллоидными глинами и сходными с ними минералами. Сб. «Геохимические методы поисков рудных месторождений». ИЛ, 1954.