



ИОННО-СОРБЦИОННЫЙ МЕТОД ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ СКРЫТЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ, ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

Изложены методика и техника литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений, принципы количественной интерпретации геохимических аномалий, выявляемых ионно-сорбционным методом. Приводятся конкретные примеры из практики поисковых работ.

Ключевые слова: метод литохимических поисков, полиметаллические месторождения.

Устойчивый рост затрат на поиски месторождений рудных полезных ископаемых обусловлен, с одной стороны, проведением работ в труднодоступных и экономически слабо освоенных районах, с другой – увеличением глубинности поисков. Вероятность обнаружения месторождений традиционными геологическими методами по их прямым признакам на дневной поверхности резко уменьшается с ростом изученности, особенно в старых рудных районах. В этих условиях решающее значение приобретают геохимические методы поисков, прежде всего литохимические, основанные на выявлении и анализе прямых признаков полезных ископаемых.

Закрытые территории экономически развитых районов с ограниченной мощностью перекрывающих отложений – важнейший резерв для открытия новых промышленных месторождений. В этих условиях рудные месторождения способны образовываться в рыхлом чехле и на его поверхности вторичные наложенные лито-, атмо- и биогеохимические ореолы рассеяния. Основные процессы, формирующие ореолы рассеяния, – диффузия и эффузия солевых и газовых компонентов, в том числе паров металлов, процессы фильтрации и электрохимического переноса, а также капиллярное и биогенное распространение солевой составляющей ореолов [4]. Наиболее благоприятные условия для образования вторичных наложенных ореолов рассеяния возникают при гипергенных изменениях сульфидных, в частности, полиметаллических месторождений, имеющих многокомпонентный состав и относительно высокие коэффициенты концентраций химических элементов в рудах.

В общем случае обнаружение наложенных ореолов на дневной поверхности определяется выбором такой методики анализа литохимических проб, которая позволяла бы усиливать контрастность аномалий, т.е. отношение полезного сигнала к уровню помех. Выявление геохимических аномалий возможно путём избирательного частично-фазового извлечения в раствор легкоподвижных форм нахождения рудных элементов. Частично-фазовый анализ может включать водные, содовые, со-

Миляев Сергей Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
sermil52@yandex.ru

Кряжев Сергей Гаврилович

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделом
s34@mail.ru

Виленкина Юлия Владимировна

кандидат геолого-минералогических наук
научный сотрудник
vilenkina@tsnigri.ru

ФГУП Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва

лянокислые, азотнокислые, ацетатные, пирофосфат-натриевые и другие вытяжки, растворяющие подвижные формы элементов, доля которых над месторождениями существенно выше по сравнению с фоновыми участками [5].

Как показывают эксперименты, наилучшей избирательной способностью при извлечении катионов химических элементов обладает разбавленный раствор азотной кислоты высокой степени очистки. В сильно разбавленных растворах азотной кислоты отмечается состояние динамического равновесия: $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$. Кислотные свойства таких растворов определяются исключительно свойствами иона гидроксония (H_3O^+), характеризующегося высокими ионообменными свойствами и способного активно замещать катионы (Cu, Zn, Pb и др.) почвенного поглощающего комплекса (совокупность минеральных, органо-минеральных и органических компонентов твёрдых фаз почв). Верхний почвенный слой (A_1), обладая высокой дисперсностью, служит прекрасным сорбентом катионов. Последние при взаимодействии почв с азотной кислотой замещаются ионом H_3O^+ , переводя катионы химических элементов в раствор, который может быть проанализирован. Азотная кислота также активно вытесняет слабые кислоты из их солей – $\text{PbCO}_3 + 2\text{HNO}_3 = \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$, $\text{ZnCO}_3 + 2\text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$, образуя хорошо растворимые соли (нитраты). Активно взаимодействует с оксидами: $\text{PbO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$.

В последнее время при проведении геохимических работ всё более широко используется атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (ICP). В практике полуколичественного ICP-анализа применяются два способа разложения силикатных проб – сплавление с флюсом и кислотное. Сплавление пробы с метабора́том лития обеспечивает полное разложение практически всех компонентов горных пород. Кислотное разложение имеет основной недостаток: неполное вскрытие ряда минералов, устойчивых к воздействию кислот. Общим и важным недостатком обоих способов, ограничивающих круг анализируемых элементов, является неконтролируемая потеря легколетучих элементов (S, As, Sb, Se, Hg, Tl и др.) при выпаривании и сплавлении [2]. Оптимальное условие, позволяющее получить достоверные результаты методом ICP

на широкий круг химических элементов, включая легколетучие, – прямой анализ слабосвязанных форм нахождения элементов в слабокислых вытяжках из природных почвенных проб, который и был применён при выявлении сорбционно-солевых ореолов рассеяния над скрытыми полиметаллическими объектами.

Для анализа отбираются пробы из верхнего почвенного горизонта с глубины 5–10 см. Пробы высушиваются до воздушно-сухого состояния и просеиваются через сито 0,25 мм. Из фракции <0,25 мм (навеска 5–10 г) в одноразовых пластиковых пробирках готовится вытяжка путём смачивания пробы 5%-ным раствором азотной кислоты в соотношении 1:10. После центрифугирования раствор направляется на ICP MS анализ. Через каждые 15–20 анализов для выявления и исключения систематических погрешностей проводится калибровка прибора путём замеров H_2O (дистиллированная), внешнего стандарта и аналитического фона. Анализы выполнялись на приборе «Элан-6100» фирмы Перкин-Элмер в ФГУП ЦНИГРИ. Предел обнаружения элементов в растворах составляет $1 \cdot 10^{-4}$ мг/л. Чувствительность анализа даёт возможность получать значимые содержания для всех 63 определяемых химических элементов. Стандартизация методики пробоподготовки и анализа обеспечивает максимальную компенсацию ошибок; получаемые аналитические данные по величинам относительных случайных погрешностей ($\delta_{\text{случ.}} = 1,1^{\pm 1} - 1,3^{\pm 1}$) могут быть отнесены к результатам количественного анализа. Это условие при литохимических поисках скрытого полиметаллического оруденения является обязательным.

Погребённые под чехлом дальнеприносных отложений (50–100 м) и «слепые» полиметаллические объекты, расположенные на глубинах 200–250 м от дневной поверхности, могут формировать в почвах слабые сорбционно-солевые аномалии. Для их выделения и подавления природных и технических помех проводится математическая обработка поисковых данных, понижающая случайные флуктуации геохимического поля и увеличивающая регулярную составляющую рудной аномалии. Эта задача имеет общетехническое значение, и для её решения существует множество способов. Простейший метод снижения уровня случайных помех – сглаживание данных геохимического опробования методом

«скользящего среднего» с числом точек в окне, близким к их числу в контуре ожидаемой слабой аномалии [1]. При этом регулярная составляющая поля (полезный сигнал) сохраняет свою амплитуду, а случайная (помеха) уменьшается, что приводит к увеличению показателя контрастности (γ). Рудные аномалии полиэлементны, их контрастность повышается при перемножении (мультипликации) содержаний элементов типоморфного комплекса. В результате сглаживания и мультипликации показатель контрастности новой аномалии возрастает в несколько раз. Выбор рудных элементов для мультипликации определяют их максимальные кларки концентрации в рудах по сравнению с местным геохимическим фоном. Для удобства сопоставления сорбционно-солевых аномалий проводится нормирование химических элементов на их средние фоновые содержания.

Условием обнаружения аномалии при геохимических съёмках является попадание в её контур хотя бы двух точек наблюдений. Поэтому геометрические размеры аномалий следует определять в границах нижнего аномального значения содержаний микроэлемента $C_A = C_\phi \cdot \varepsilon^2$, где ε – стандартный множитель, зависящий от технической точности и методики геохимических исследований.

Характеристику аномалий, наряду с размерами, определяет их контрастность, за которую нередко ошибочно принимают величину отношения C_{\max} к C_ϕ . Правильная оценка этого показателя требует сопоставления аномалий не только с уровнем фона, но и с его устойчивостью, мерой которой служит стандартный множитель. В этом случае показатель контрастности аномалии определяется отношением $\gamma = \lg 1/\varepsilon - \lg C_{\max}/C_\phi$ [5].

При принятом способе опробования природные колебания содержаний элементов не зависят от точности съёмки: они определяются степенью

гипергенного преобразования пород и руд и уменьшаются по мере увеличения времени выветривания. Величина ε характеризует соотношение между минеральной и безминеральной формами нахождения рудных элементов: она больше там, где преобладают минеральные формы. В зависимости от методики пробоподготовки и размера фракций наблюдается закономерное снижение ε при переходе от минеральных к солевым формам, что в итоге приводит к увеличению размеров и контрастности аномалий [3].

Сравнительные характеристики аномалий, полученные при анализе жидкой и твёрдой фаз почвенных проб, приведены в таблице. В качестве испытуемого объекта послужило золотополиметаллическое с молибденитом проявление в правом борту р. Кудихта (Восточное Забайкалье). Площадь расположена в горно-таёжном ландшафте и перекрыта рыхлыми отложениями мощностью до 10 м. Как следует из полученных данных, аномалии химических элементов, определяемых из азотнокислых вытяжек, имеют наибольшие размеры и показатели контрастности. Оценённые по мультипликативному показателю Pb-Zn·Cu·Mo эти параметры по результатам анализа азотнокислых вытяжек в три раза превышают значения тех же характеристик, полученные при анализе твёрдых порошковых проб.

Ионно-сорбционный метод разрабатывался в ЦНИГРИ в 2012–2016 гг., был апробирован для районов Рудного Алтая, Восточного Забайкалья и Салаирского кряжа с различными ландшафтными обстановками (горно-таёжные, степные, лесостепные и др.), а также геологическими условиями развития геохимических аномалий (площади, перекрытые чехлом молодых отложений, древние коры выветривания, современные элювио-делювиальные и солифлюкционные образования).

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРЕОЛОВ РАССЕЙНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ЖИДКОЙ И ТВЁРДОЙ ФАЗАХ ПОЧВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСР MS АНАЛИЗА

Характеристики ореолов	Pb	Zn	Cu	As	Sb	Mo	W	Pb·Zn·Cu·Mo
<i>Азотнокислые вытяжки</i>								
Ширина, м	200	160	80	60	80	160	60	150
Контрастность	3,0	2,7	3,1	1,9	2,9	3,2	2,3	9,4
<i>Порошковые пробы</i>								
Ширина, м	80	40	40	-	-	40	30	50
Контрастность	2,5	1,6	1,3	-	-	2,7	1,1	3,2

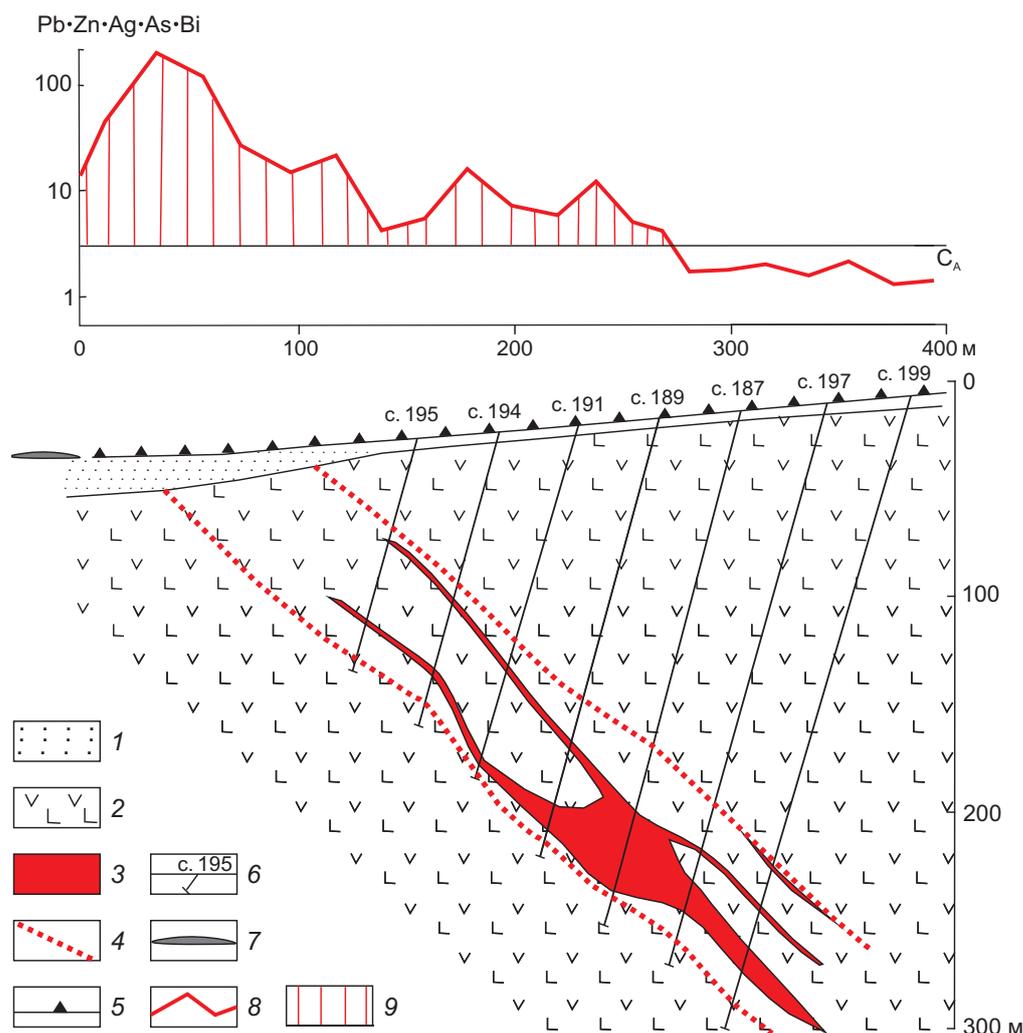


Рис. 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИОННО-СОРБЦИОННОЙ СЪЁМКИ ЗАПАДНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ НОЙОН-ТОЛОГОЙ:

1 – солифлюкционные образования; 2 – андезитбазальты; 3 – рудные тела; 4 – граница рудной зоны; 5 – пункты опробования; 6 – разведочные скважины, их номера; 7 – техногенные отложения; 8 – график мультипликативного показателя; 9 – область аномальных значений показателя

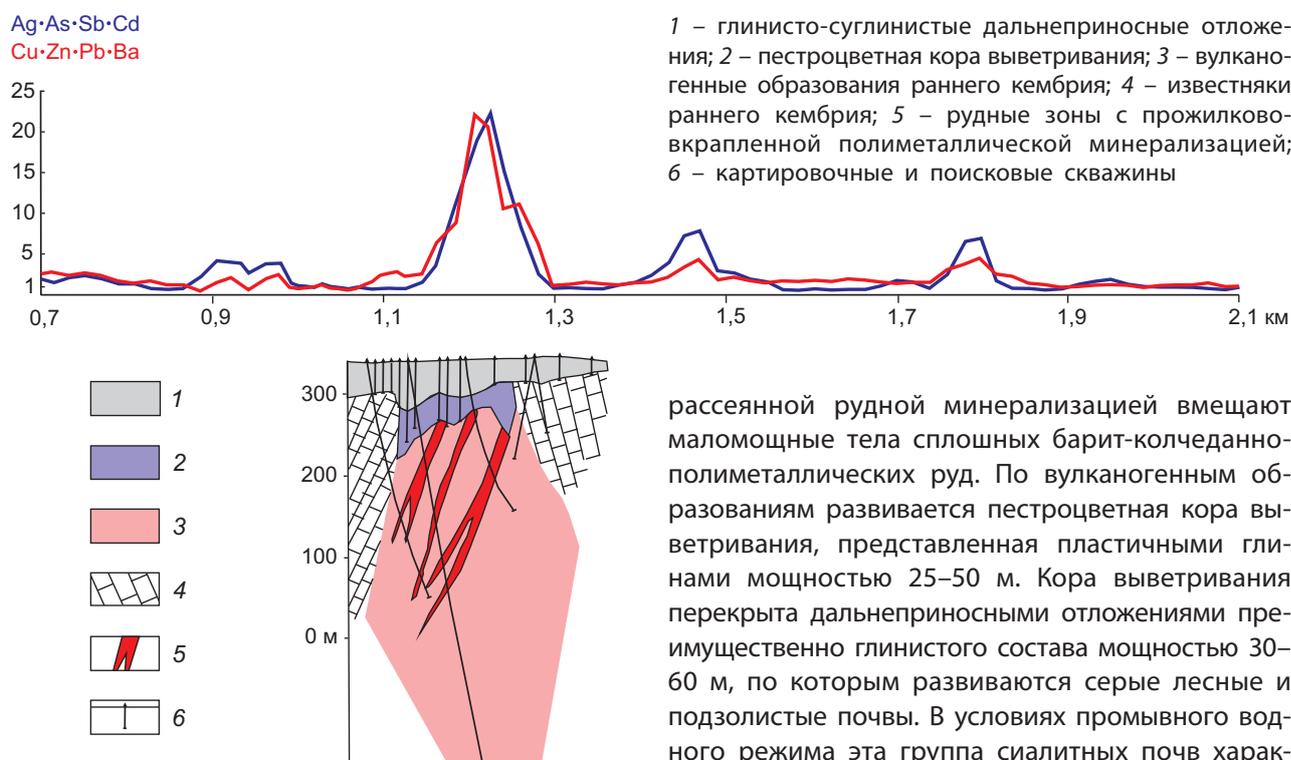
Ниже приведены результаты опытно-методических и поисковых работ на скрытых полиметаллических объектах Сибири.

Нойон-Тологойское месторождение в Восточном Забайкалье представляет собой новый и весьма перспективный для региона тип стратифицированного свинцово-цинкового оруденения. Месторождение приурочено к борту конседиментационной блок-синклинали, сложенной юрскими вулканогенно-терригенными и терригенными толщами. Основная часть свинцово-цинковых руд представлена пологопадающими залежами, находящимися в «слепом» залегании. Основные рудные минералы – галенит, сфалерит, пирит, арсе-

нопирит, второстепенные – тетраэдрит, халькопирит, молибденит, бурнонит, буланжерит, джемсонит. По природно-климатическим условиям площадь относится к среднегорным степным ландшафтам периферической части криолитозоны с ярко проявленными в пределах нижних частей относительно пологих склонов процессами солифлюкции.

На Западном участке месторождения Нойон-Тологой пройдены два профиля литохимической съёмки. Мощность солифлюкционных отложений колеблется от 5 до 20 м. Верхняя кромка рудных тел находится на глубине 50–70 м от поверхности (рис. 1).

Рис. 2. СОРБЦИОННО-СОЛЕВЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЙНИЯ НАД ПОГРЕБЁННЫМ РУДОПРОЯВЛЕНИЕМ ВЕРШИННОЕ:



1 – глинисто-суглинистые дальнеприносные отложения; 2 – пестроцветная кора выветривания; 3 – вулканогенные образования раннего кембрия; 4 – известняки раннего кембрия; 5 – рудные зоны с прожилково-вкрапленной полиметаллической минерализацией; 6 – картировочные и поисковые скважины

Комплексные сорбционно-солевые ореолы чётко фиксируют выход рудной зоны и характеризуются широким спектром элементов, отвечающим составу гипогенных руд. Максимальные значения мультипликативного показателя Pb·Zn·Ag·As·Bi на два порядка превышают их нижние аномальные величины. Эффективная ширина комплексной аномалии более 400 м (см. рис. 1). Помимо основных рудных элементов, в аномальных концентрациях присутствуют Cd, Sb, Cu, Tl, In, Sn, Hg, Ba, Mo.

Важно отметить, что процессы солифлюкции могут частично или полностью экранировать механические остаточные ореолы рассеяния, а также приводить к смещению их на расстояния, превышающие 150 м [4]. В отличие от механических, сорбционно-солевые ореолы фиксируют в своих центральных точках положение эпицентра рудных зон, что имеет значение при задании первых горных выработок и скважин.

Рудопроявление *Вершинное* (Северо-Восточный Салаир) приурочено к толще раннего кембрия, сложенной вулканогенно-осадочными образованиями. Зоны с прожилково-вкрапленной и

рассеянной рудной минерализацией вмещают маломощные тела сплошных барит-колчеданно-полиметаллических руд. По вулканогенным образованиям развивается пестроцветная кора выветривания, представленная пластичными глинами мощностью 25–50 м. Кора выветривания перекрыта дальнеприносными отложениями преимущественно глинистого состава мощностью 30–60 м, по которым развиваются серые лесные и подзолистые почвы. В условиях промывного водного режима эта группа сиалитных почв характеризуется пониженными содержаниями целого ряда химических элементов.

Анализ почвенных вытяжек позволил установить над проекцией рудных зон слабоконтрастные ореолы рассеяния Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb, Cd, Ba. Усиление слабых аномалий достигалось сглаживанием данных анализа методом «скользящего среднего» с числом точек в окне, равным трём, с последующей мультипликацией рудных компонентов. На рис. 2 представлены графики распределения комплексных мультипликативных показателей основных (Cu·Zn·Pb·Ba) и сопутствующих (Ag·As·Sb·Cd) химических элементов. Максимальные концентрации комплексных показателей превышают фоновые в 25 раз. Ширина выявленных аномалий 160–180 м.

Рубцовский район Рудного Алтая относится к числу полностью закрытых чехлом неоген-четвертичных отложений мощностью 70–150 м. В закрытых и полузакрытых районах с различными ландшафтно-геохимическими условиями рекомендуются глубинные литохимические поиски, основанные на выявлении погребённых вторичных остаточных ореолов. Однако широкое использование этого метода сдерживается

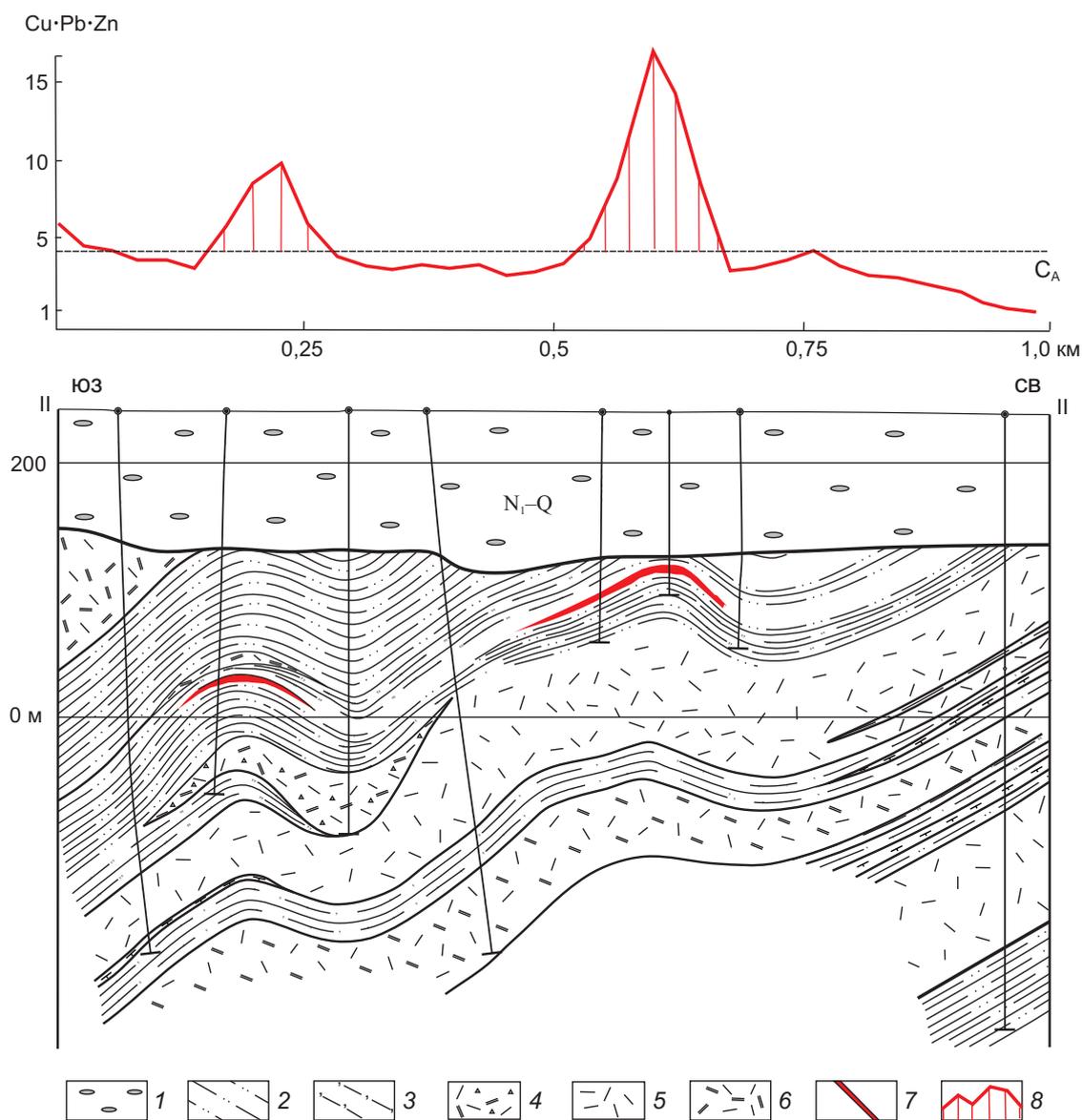


Рис. 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИОННО-СОРБЦИОННОЙ СЪЁМКИ ПО ПРОФИЛЮ II-II ЗАПАДНО-ЗАХАРОВСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ:

1 – неоген-четвертичные отложения; 2 – алевролиты, аргиллиты; 3 – кремнистые алевролиты; 4 – лавобрекчии риодацитового состава; 5 – риолиты; 6 – риодациты; 7 – рудные тела; 8 – область аномальных значений мультипликативного показателя

значительной себестоимостью и трудоёмкостью работ.

Опытные работы проводились на Южно-Бобковском и Западно-Захаровском проявлениях, представленных согласными пластообразными и линзовидными телами колчеданно-полиметаллических руд, приуроченных к толще раннего живета (алевролиты, аргиллиты, туффиты с прослоями лав риолитов и риодацитов). Оба участка характеризуются выровненным рельефом со

степным ландшафтом и хорошо развитым почвенным покровом, представленным чернозёмами. Отличительная особенность чернозёмов – высокая почвенная ёмкость катионного обмена (общее количество всех поглощённых катионов, которые могут быть вытеснены из почвы).

Над скрытопогребёнными рудными залежами Южно-Бобковского и Западно-Захаровского проявлений в почвах выявлены сорбционно-солевые ореолы Cu, Zn, Pb, Ba, Ag. Максимальные

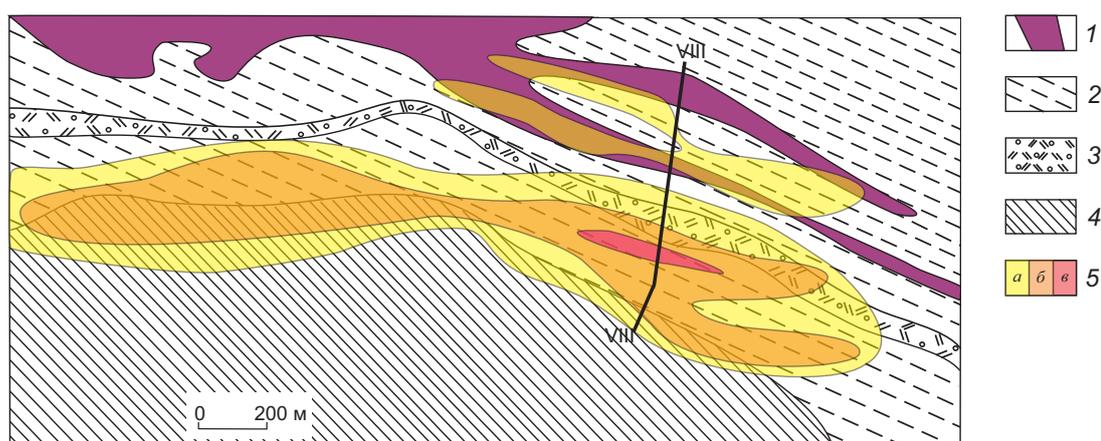


Рис. 4. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЙНИЯ УЧАСТКА ПЕТРОВСКИЙ:

1 – риолиты; 2 – алевролиты; 3 – чередование туффитов кислого состава, кремнистых и туфогенных алевролитов; 4 – метаморфические сланцы раннего палеозоя; 5 – значения мультипликативного показателя Pb-Zn-Cu: 10–100 (а), >100–1000 (б), >1000 (в)

значения показателя Cu-Pb-Zn превышают фоновые в 10–30 раз. Эффективная ширина аномалий от 120 до 300 м. На рис. 3 приведён реальный пример выделения сорбционно-солевых ореолов по профилю II–II Западно-Захаровского проявления при мощности перекрывающих неоген-четвертичных отложений 100–110 м.

При поисковых работах в *Змеиногорском районе Рудного Алтая* использование ионно-сорбционного метода способствовало выявлению и вскрытию новых промышленных рудных тел. В качестве примера приведём результаты геохимических работ на участке Петровский. Участок представлен степными и лесостепными ландшафтами предгорий и пологих склонов низкогорья с чернозёмными почвами. Перспективная площадь выделена на основании всестороннего анализа геологических материалов. Детальная опоскованность участка горными выработками лёгкого типа не позволяла рассчитывать на обнаружение рудных тел, выходящих на дневную поверхность. Поисковые работы были нацелены на выявление рудных тел на глубоких горизонтах продуктивной вулканогенно-осадочной толщи раннего живета.

После проведения литохимической съёмки ионно-сорбционным методом на площади установлена обширная контрастная аномалия рудных элементов Pb, Zn Cu (рис. 4) протяжённостью >2,5 км, шириной от 200 до 600 м. Помимо основных элементов, в аномальных концентрациях присутствуют Cd, Ag, As, Sb.

На рис. 5 представлены графики распределения содержаний рудных, петрогенных и элементов семейства железа по профилю VIII–VIII Петровского участка. Для рудных элементов характерны два отчётливых пика. Первый приурочен к контакту пород раннего палеозоя – раннего живета, второй – к продуктивной толще раннего живета. В последнем случае максимальные содержания показателя Pb-Zn-Cu более чем в 1000 раз превышают его нижние аномальные значения. Ширина аномалии не менее 300 м.

Условия формирования колчеданно-полиметаллических месторождений в целом благоприятны для поисков скрытых объектов также по их петрохимическим ореолам, отвечающим зонам метасоматически изменённых пород. Колчеданно-полиметаллическое оруденение на Рудном Алтае сопровождается метасоматитами кварцсерицитовая формации. Главная особенность метасоматических преобразований заключается в последовательном разложении темноцветных минералов (с их хлоритизацией), а затем и полевых шпатов исходных пород с замещением их ассоциацией карбонат+кварц+серицит+пирит. Основные черты химизма метасоматических преобразований определяются постоянным выносом из пород Na и привнесом K, CO₂, S. Прочие из ведущих породообразующих компонентов (Mg, Fe, Ca, Si, Al) ведут себя вариативно в зависимости от состава исходных пород и PT-особенностей минерализующих растворов. При этом для

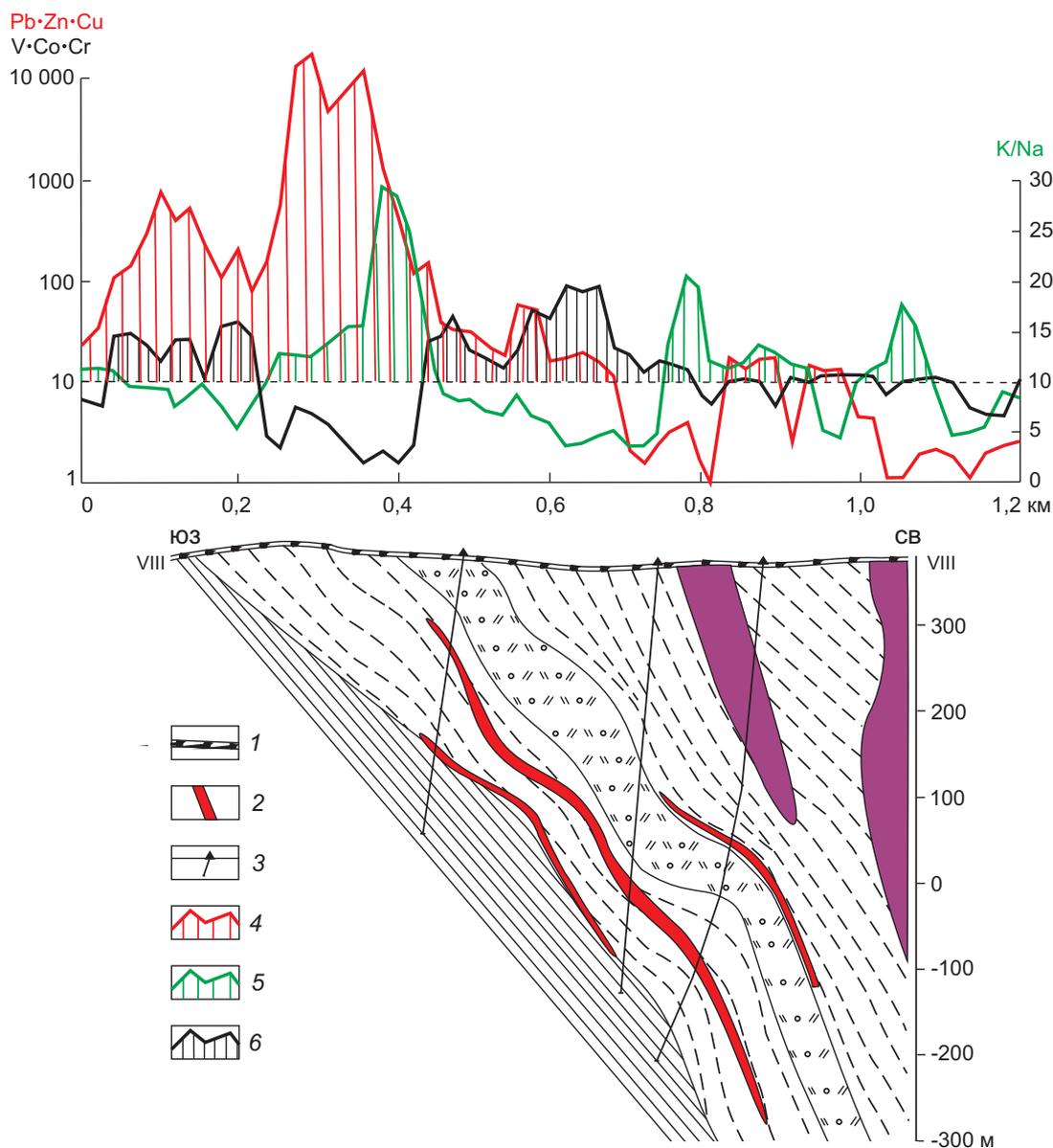


Рис. 5. ГРАФИКИ РУДНЫХ, ПЕТРОГЕННЫХ И СИДЕРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОФИЛЮ VIII–VIII УЧАСТКА ПЕТРОВСКИЙ:

1 – элювио-делювий; 2 – рудные тела; 3 – поисковые скважины; положительные аномалии комплексных показателей: 4 – Pb-Zn-Cu, 5 – K/Na, 6 – V-Co-Cr.; остальные усл. обозн. см. рис. 4

Mg и Fe чаще проявляется тенденция к выносу из центральных зон метасоматитов. В этом случае показатель отношения K/Na будет образовывать положительную аномалию над выходом метасоматически изменённых пород. На профиле VIII–VIII Петровского участка аномальное значение отношения K/Na отчётливо тяготеет к выходу на поверхность продуктивных интенсивно серицитизированных толщ раннего живета (см. рис. 5). Ширина аномалии 220 м. В северо-вос-

точной части аномалии K/Na фиксируют выходы кислых вулканитов калиевого профиля.

Полезную информацию о наличии колчеданно-полиметаллического оруденения несут элементы семейства железа. По сравнению с рудными элементами аномалии элементов семейства железа менее контрастные, что обусловлено их относительно невысокими коэффициентами концентраций в рудах и окорудном пространстве. На основном рудоносном уровне месторожде-

ний доминирует их вынос с переотложением на границах зон максимальных метасоматических изменений по латерали. На профиле VIII–VIII мультипликативный показатель V-Cr-Co образует область пониженных по сравнению с фоном содержаний элементов над выходом продуктивной толщи на поверхность. Ширина зоны выноса 200 м (см. рис. 5). Выщелоченные элементы частично переотлагаются в висячем и лежачем блоках, образуя положительные аномалии.

При прогнозной оценке перспектив Петровского участка учитывался весь комплекс геохимических поисковых признаков, представленный ассоциацией рудных (Pb, Zn, Cu), верхнерудных (Ag, As, Sb), петрогенных (K, Na) элементов-индикаторов, определяющих химизм метасоматических преобразований, элементов семейства железа (Co, V, Cr), продуктов гипогенного выщелачивания – осаднения в предрудную стадию гидротермальной деятельности. Пробуренные с учётом геохимических данных поисковые скважины вскрыли три «слепых» рудных тела, расположенных на глубинах 80, 200 и 250 м от поверхности.

В заключение сделаем некоторые выводы практического характера.

Скрытые полиметаллические объекты фиксируются с поверхности устойчивыми сорбционно-солевыми ореолами рудных, сопутствующих и петрогенных элементов.

В благоприятных геологических условиях с поверхности рыхлого чехла могут быть выявля-

ны сорбционно-солевые ореолы над полиметаллическими рудными телами, залегающими на глубине 200–250 м, а также перекрытыми чехлом неоген-четвертичных отложений мощностью 100–110 м.

Привлечение к решению поисковых и оценочных задач всего комплекса элементов-индикаторов полиметаллического оруденения существенно повышает достоверность получаемых прогнозных оценок.

Целесообразный масштаб поисковых литохимических съёмок ионно-сорбционным методом – 1:50 000 (сеть 500×80 м) с доведением детальности съёмок на выявленных аномалиях до м-ба 1:25 000 (сеть 250×40 м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев С.А. Информатика. Математическая обработка геолого-геохимических данных. Учебное пособие. – Барнаул: Новый формат, 2016.
2. Матвеев А.А., Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебник. – М.: КДУ, 2011.
3. Милыев С.А. Литохимические поиски полиметаллических месторождений. – М.: Недра, 1988.
4. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. – М.: Недра, 1985.
5. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П.Соловов, А.Я.Архипов, В.А.Бугров и др. – М.: Недра, 1990.

ION-SORPTION METHOD OF LITHOCHEMICAL PROSPECTING FOR HIDDEN POLYMETALLIC DEPOSITS: GENERAL PRINCIPLES, EXPERIENCE OF USE

S.A.Milyaev, S.G.Kryazhev, Yu.V.Vilenkina

The technique and equipment of lithochemical search of the hidden polymetallic deposits; principles of quantitative interpretation of the detected ion-sorption method anomalies are presented. Specific examples of the work practice are given.

Keywords: method of lithochemical prospecting, polymetallic deposits.