

А. С. ДУХАНИН (ООО «КАД-КОПИ Сервис»),
С. Г. АЛЕКСЕЕВ (ЗАО КЦ «РОСГЕОФИЗИКА»),
Н. П. СЕНЧИНА (СПГУ)

Структура струйных ореолов рассеяния глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая

Представлены результаты детального изучения различными методами, в том числе геоэлектрохимическими, наложенных ореолов рассеяния на трех колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая, перекрытых аллохтонными отложениями мощностью десятки и сотни метров. Показано, что ореолы рассеяния химических элементов формируются в виде узких субвертикальных струй с расширением площади горизонтального сечения вблизи дневной поверхности. Отмечается связь аномальных содержаний металлов с повышенными содержаниями углекислого газа, уменьшением значений рН и удельного электрического сопротивления почв. Подтверждена эффективность применения методов для выделения наложенных ореолов рассеяния глубокозалегающих руд.

Ключевые слова: глубокозалегающие месторождения, геоэлектрохимические методы, ореолы рассеяния, Рудный Алтай.

A. S. DUKHANIN (OOO «CAD-COPY Servis»),
S. G. ALEKSEEV (CJSC «ROSGEOPHYZIKA»),
N. P. SENCHINA (SPMU)

Structure of jet-like dispersion halos of deeply buried mineral deposits in the Rudny Altai

Results of a detailed study by various methods, including geoelectrochemical, of superimposed scattering halos in three pyrite-polymetallic deposits of the Rudny Altai, covered by allochthonous sediments having a thickness of tens and hundreds of meters are presented. It is shown that the chemical element scattering halos are formed as narrow subvertical jets with widened horizontal section area near the day surface. The relationship of anomalous metal contents with elevated carbon dioxide content, the decrease in values of pH and electrical resistivity of soils are recorded. The efficiency of the application of methods for the identification of superimposed scattering halos of deeply buried ores is confirmed.

Keywords: deeply buried mineral deposits, geoelectrochemical methods, dispersion halos, the Rudny Altai.

Для цитирования: Духанин А. С., Алексеев С. Г., Сенчина Н. П. Структура струйных ореолов рассеяния глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. — 2019. — № 80. — С. 75–94.

Введение. В связи с необходимостью опоискования закрытых площадей, группой исследователей под руководством Н. И. Сафронова и Ю. С. Рысса в конце 60-х годов прошлого века начались работы по созданию прямых дистанционных методов поисков рудных месторождений [22]. При постановке исследований предполагалось изучение и использование электрохимических процессов как естественно происходящих в горных породах, так и вызываемых искусственно. Поэтому общее направление исследований получило название геоэлектрохимия, а создаваемые методы — геоэлектрохимическими. Одним из направлений было изучение форм нахождения элементов при электрохимических процессах в сульфидных рудных телах и ореолах рассеяния. Основной предпосылкой для исследований служило предположение о возможной миграции микроэлементов в подвижных формах

нахождения из глубины к дневной поверхности. С целью поиска наиболее информативных сигналов от рудного тела началось систематическое изучение форм нахождения химических элементов в горных породах и почвах [5]. Ряд геоэлектрохимических методов разработали и внедрили в геологоразведочное производство. Наибольшее распространение получили методы:

- поисков по металлоорганическим формам нахождения элементов (МПФ) [4];
- термомагнитный геохимический (ТМГМ) [7];
- диффузионного извлечения (МДИ) [14];
- частичного извлечения металлов (ЧИМ) [10].

Результаты применения этих методов при поисках и разведке рудных месторождений в различных климатических и ландшафтных условиях показали, что рудные тела, перекрытые толщей рыхлых аллохтонных отложений или коренными породами мощностью в десятки и сотни метров,

фиксируются на дневной поверхности по наложенным ореолам рассеяния [8; 32]. В этих работах рассмотрены и основные особенности ореолов рассеяния, регистрируемых с помощью созданных методов:

1) ореолы распространяются на значительные расстояния в субвертикальном направлении, что обеспечивает большую глубинность исследований;

2) аномально повышенные концентрации металлов в наложенных ореолах, как правило, приурочены к проекции концевых частей рудных тел на дневную поверхность;

3) элементный состав наложенных ореолов соответствует вещественному составу руд;

4) аномалиями геоэлектрoхимических методов выделяются не только сами рудные объекты, но и сопряженные с ними структурно-тектонические элементы земной коры, в частности зоны разломов;

5) наложенные ореолы, по данным геоэлектрoхимических методов, наблюдаются не только над коренными, но и россыпными месторождениями, например, золота и олова;

6) геоэлектрoхимические методы позволяют выделять наложенные ореолы в различных ландшафтных обстановках: от зон вечной мерзлоты до полупустынь и пустынь.

Опыт применения методов на различных этапах и стадиях геологоразведочных работ при поисках рудных месторождений рассмотрен в работе Н. А. Ворошилова [8]. Ореолы химических элементов-спутников нефти зафиксированы и над залежами углеводородов, залегающих на глубинах в несколько километров [24].

Для объяснения особенностей этих ореолов, а именно значительной вытянутости в вертикальном направлении [23], нами был предложен, а затем теоретически и экспериментально обоснован газово-пузырьковый конвективный механизм их формирования [19; 20; 21; 32; 41]. Согласно ему, в верхней части земной коры существует региональный вертикально направленный поток микропузырьков слаборастворимых газов (в основном метана, водорода, азота, углекислого газа). По пути движения в области объектов с повышенной концентрацией химических элементов (рудных тел, водо-нефтяного контакта углеводородных залежей) пузырьки захватывают эти элементы и переносят вверх (в газовой или жидкой фазах – эффект природной ионной флотации), вплоть до дневной поверхности. При взаимодействии этого потока с твердой фазой горных пород формируется весь спектр вторично закрепленных форм нахождения металлов.

В последнее время появились публикации [27; 35; 36; 38; 39], подтверждающие гипотезу струйного движения вещества при образовании вторичных наложенных ореолов рассеяния. Однако результаты комплексного изучения пространственного строения этих ореолов в различных формах нахождения крайне немногочисленны. Только ограниченная часть материалов

публиковалась ранее [3; 13; 23]. Восполнить этот пробел помогут не публиковавшиеся ранее данные, полученные при проведении работ на территории Рудного Алтая.

Цель и задачи работ. Цель исследований – детальное изучение структуры и состава наложенных ореолов комплексом геохимических методов на дневной поверхности с прослеживанием их распространения на глубину до 2 м на трех колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая: Захаровском, Рубцовском и Корбалихинском.

Для достижения поставленной цели на площади каждого месторождения осуществлялись:

1) выделение наложенных ореолов рассеяния путем проведения наблюдений МДИ по профилям с шагом 50 м и со сгущением шага съемки до 20–25 м на участках проекций головы рудных тел на дневную поверхность;

2) детализация участков выделенных ореолов комплексом геохимических методов по более плотной сети (до 5 × 5 м);

3) более детальное изучение распределения химических элементов в зоне наложенного ореола проведением работ по отдельным профилям с шагом до 0,5 м;

4) Изучение распределения металлов в аномальной зоне до глубины 2 м с помощью канав, шурфов и шнековых скважин большого диаметра.

Работы выполнялись комплексом геохимических (литохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния, ТМГМ, МПФ, МДИ, ЧИМ и атмосферическая – с определением CO₂ и Cu, Pb) и геофизических (электроразведка, термометрия) методов. В МДИ при накоплении катионов ведущая роль принадлежит диффузионному потенциалу, возникающему вследствие аномально высокого коэффициента диффузии ионов водорода применяемого электролита [2]. Экстракция металлов может проводиться в лабораторных и полевых условиях. В первом случае из подготовленных проб, что занимает достаточно много времени для их отбора, просушивания, ситования, квартования. Основной объем работ методом МДИ проведен с отбором проб в полевых условиях [14], при котором в почву укладывались элементоприемники из целлюлозной трубки диаметром 2 см и длиной 0,5 м, заполненные раствором однонормальной азотной кислоты. Время экспозиции составляло 20 ч. Полевые работы методом ЧИМ осуществлялись с помощью шестидесяти канальных станций ЧИМ-К, а металлы извлекались в двухкамерные элементоприемники объемом 100 мл при токах, превышающих критические значения [1], что исключало воздействие кислоты на почву. Аналитическое определение концентрации свинца и меди в растворах МДИ и ЧИМ выполнялось непосредственно в полевых условиях методом инверсионной вольтамперометрии на вращающемся графитовом электроде с помощью полярографа ПУ-1 [6]. Проведение анализа только на два основных химических

элемента полиметаллических руд, несомненно, снижало эффективность геохимических работ, однако скорость получения результатов (на следующий день после начала работ) позволяла оперативно проследить аномальные зоны и выбирать площади для дальнейших детализационных исследований.

Литохимическая съемка по вторичным ореолам рассеяния проводилась в соответствии с инструкцией [17]. Пробы МПФ отбирались из обогащенного гумусом почвенного горизонта с глубины 0–5 см и ТМГМ – из иллювиального горизонта с глубины 20–30 см. Для обеспечения представительности трех этих методов их отбор на каждой точке наблюдения проводился конвертом из пяти копушей, удаленных друг от друга на 3–5 м. Далее пробы сушились, ситовались (сито с размером ячейки 1 мм), квартовались и отправлялись в химико-аналитическую лабораторию ФГУ НПП «Геологоразведка», аккредитованную на выполнение геохимических и экологических работ. На сегодняшний день эта лаборатория входит в состав ООО «Полевая геофизика».

Экстракция МПФ осуществлялась в лабораторных условиях раствором пиррофосфата натрия [5; 33]. В этом же растворе определялось содержание органического углерода, далее – соосаждение металлов сульфидом кадмия с получением твердого осадка. В ходе работ ТМГМ проводился магнетизирующий обжиг проб в течение 20 мин при температуре 800 °С с последующей экстракцией магнитной фракции. Следует отметить, что при исходной навеске обожженной пробы в 50 г выход магнитной фракции не превышал один грамм. Твердые пробы литохимической съемки, экстрактов МПФ, ТМГМ анализировались эмиссионно-спектральным методом на приборе СТ-1. При обработке данных МПФ нормировались полученные содержания металлов к органическому углероду.

Во время работ на Захаровском месторождении проводилось измерение содержания углекислого газа в подпочвенном воздухе (шахтный интерферометр ШИ-10) и атмосферическая съемка по металлам [34], модифицированная Крчмаром [40]. При атмосферической съемке на каждой точке наблюдения выкапывалась ямка глубиной

0,5 м, которая на глубине 0,2 м перекрывалась колпаком в форме конуса диаметром 0,8 м. Края конуса присыпались землей, а в верхней ее части устанавливался фильтр Петрянова для удаления потока воздуха аэрозольных частиц. С помощью шлангов верхняя часть конуса через стеклянный барбатор, заполненный раствором 1 н. азотной кислоты, соединялась с компрессором. На каждой точке наблюдения через барбатор прокачивалось 50 л почвенного воздуха со скоростью 2 л/мин. Полученный раствор кислоты направлялся на анализ, который проводился методом атомно-эмиссионной спектроскопии с возбуждением элементов в индуктивно-связанной плазме (ИСП АЭС) в НПО «Источник» [12].

На Захаровском месторождении также выполнены детальные электроразведочные (профилирование методом срединного градиента с установкой АВ = 90 м, MN = 10 м) и термометрические наблюдения по методике В. И. Горного [11]. Отдельные участки подвергались измерению рН почвенных вытяжек потенциометрическим способом при соотношении твердой фазы почв и дистиллированной воды 1 : 5.

Краткая характеристика объектов исследования. Работы проводились на колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая (Захаровском, Рубцовском и Корбалихинском), локализуемых в верхнедевонских отложениях северо-западной части Рудного Алтая. Краткая характеристика особенностей этих месторождений приведена в табл. 1.

Захаровское месторождение открыто в 1975 г. при общих поисках на участке с геохимической аномалией меди, выявленной в 1960 г. и признанной в то время бесперспективной на промышленное оруденение [30]. Месторождение находится в Рубцовском рудном районе, в Рубцовском-Захаровском рудном поле [9]. Участок месторождения сложен вулканогенно-осадочными отложениями средне-верхнедевонского возраста (рис. 1). Породы девона представлены кремнисто-глинистыми алевритами с прослоями кислых туфов и песчаников и имеют пологое юго-западное падение под углом 10°–20° с флексурными перегибами и изменением углов падения на 10°–30°.

Таблица 1

Краткая характеристика руд рассматриваемых месторождений и условий их залегания [9]

Характеристика	Месторождение		
	Захаровское	Рубцовское	Корбалихинское
Условия залегания рудного тела в районе исследований	Слепо-погребенное	Погребенное	Слепое
Мощность – зона окисления / кора выветривания, м	Ярко выражена (до 30) / (5)	Уникальная [15; 17]	Слабо выражена
Мощность перекрывающих рыхлых отложений, м	80–100	80–100	До 20
Соотношение Pb : Zn : Cu в рудах, от/до	1 : 2,5 : 0,5 / 1 : 1,8 : 0,3	1 : 1,8 : 0,7	1 : 2,9 : 0,1 / 1 : 6,2 : 1,1

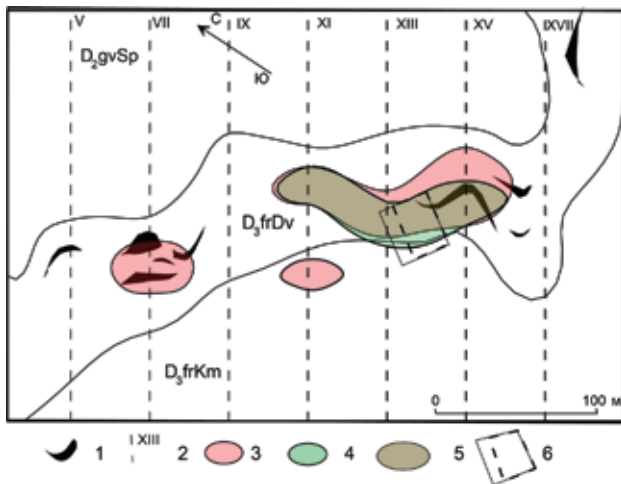


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Захаровского месторождения с контурами шипуновской, давидовской и каменевской свит [9], с профилями опробования, аномальными зонами МДИ по свинцу и меди

1 – рудные тела, скрытые аллохтонными отложениями; 2 – профили опробования МДИ и их номера; 3–5 – контуры аномалий: 3 – свинца, 4 – меди, 5 – комплексной свинца и меди; 6 – контур площади детализационных работ

Магматические образования в пределах Захаровского месторождения обладают крайне ограниченным распространением. Колчеданно-полиметаллическое оруденение локализуется в пределах давидовской свиты. Мощность рудных тел изменяется от нескольких десятков сантиметров до 25 м, а протяженность по простиранию и падению – до первых сотен метров. Основные минералы: сфалерит, галенит, пирит, халькопирит. Содержание меди, свинца и цинка в руде составляет в сумме 18 %. Около 15 % руд находится в окисленном состоянии. Максимальная глубина нижней границы зоны окисления – 133 м. Зона окисления является уникальной, в ней найдено свыше 20 новообразованных минералов (в частности пирит $PbBi_2O_2Cl$ [15]).

В верхней части зоны окисления отмечается подзона выщелачивания руд мощностью до 5 м, которая характеризуется выносом меди, свинца и цинка. Сложена она окислами и гидроокислами железа, кремний-малахита, малахита и кварца. Ниже по разрезу выделяется зона богатых окисленных руд мощностью до 30 м. Основные рудные компоненты – цинк, медь и свинец – выделяются в виде карбонатов, сульфидов и окислов. По данным фазового анализа Рубцовской ГРП, степень окисления меди достигает 80 %, а свинца и цинка не превышает 20 %. Зона гипогенного оруденения залегает ниже 140 м и представлена первичными сульфидными рудами. Массивные руды на месторождении имеют ограниченное распространение и тяготеют к висячему боку рудных тел. Они характеризуются плотным неоднородно-массивным строением. Наиболее распространенный минерал в рудах – сфалерит, количество

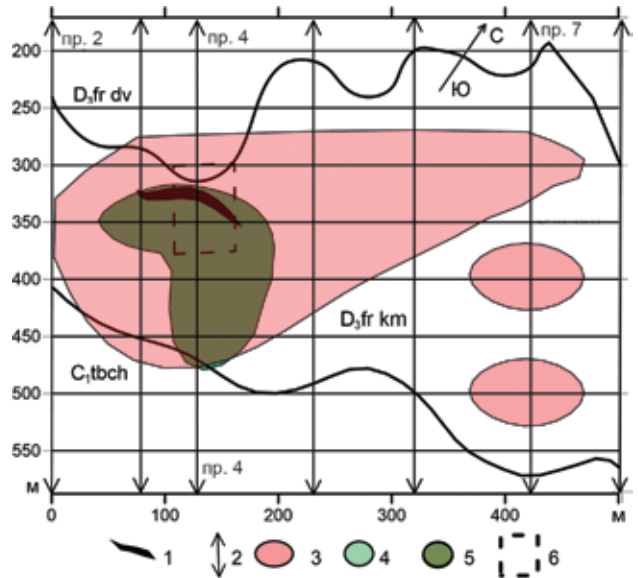


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Рубцовского месторождения (по данным Рудно-Алтайской экспедиции [29]) с профилями опробования, аномальными зонами МДИ по свинцу и меди

Усл. обозн. см. на рис. 1

которого достигает 50–70 % от общей рудной массы. Девонские отложения в пределах участка перекрыты рыхлыми аллохтонными отложениями неогена мощностью до 100 м. Ландшафт территории степной. Почвы черноземные слабощелочные (среднее значение $pH = 8,4$) мощностью 0,5–0,7 м. На территории месторождения ведется сельскохозяйственная деятельность.

Рубцовское месторождение расположено в 15 км от Захаровского и открыто в 1970 г. при геологической съемке на участке аномалий магниторазведки и метода вызванной поляризации [30].

Геологический разрез представлен лавами, туфолавами риолитовых порфиров и вышележащими кремнистыми, глинистыми вулканомиктовыми алевролитами верхнего девона, слагающими пологую моноклираль северо-восточного простирания с падением на юго-восток (рис. 2).

Месторождение характеризуется простотой геологического строения, одним согласно залегающим рудным телом и самым высоким содержанием рудных элементов среди месторождений этого типа в России [30]. Основные запасы представлены богатыми сульфидными полиметаллическими и колчеданно-полиметаллическими рудами, среднее содержание металлов в которых составляет 22,84 % при содержании (%): Cu 4,54, Pb 6,50 и Zn 11,80.

На месторождении горными выработками вскрыта четко выраженная и хорошо проработанная зона окисления, которая оказалась уникальной по минеральному составу, что принесло месторождению мировую известность [16; 29]. В верхней части разреза фрагментарно развита кора выветривания мел-палеогенового возраста мощностью до 15 м. Зона окисления

Рубцовского месторождения развита в интервале глубин с абсолютными отметками 137–167 м при мощности окисленных руд от 3–8 до 17–20 м. Подробно исследование зоны окисления приводится в работе [16], из которой можно сделать следующие выводы:

1) в разрезе зоны окисления сверху вниз выделяются подзоны полного выноса (железная шляпа), богатых окисленных руд и вторичного сульфидного обогащения;

2) существенное перераспределение рудообразующих и попутных ценных компонентов в гипергенном разрезе является следствием длительного существования зоны окисления;

3) формирование зоны окисления произошло на фоне нестабильной обстановки, выразившейся в колебании уровня грунтовых вод и неоднократной смене окислительно-восстановительной обстановки.

Палеозойские образования, включая кору выветривания, перекрыты чехлом песчано-глинистых неоген-четвертичных отложений мощностью 80–100 м. Территория месторождения находится в степной зоне. Ландшафт неоднородный, присутствует речная долина с частично пересошим солончаковым руслом. Почвы черноземные средней мощностью 0,5 м, но сельскохозяйственная деятельность, в отличие от Захаровского месторождения, не ведется. Это связано с развитием солончаков. Пространственно они расположены непосредственно над рудной зоной

и могут являться причиной аномалии по литохимической съемке.

Корбалихинское месторождение – самое крупное на северо-западе Алтая. Его юго-восточная часть открыта в 1959 г., а более богатая и расположенная на северо-западе участка залежь обнаружена в 1970-х годах. В ландшафтном отношении месторождение находится в предгорьях Кольванского хребта и характеризуется как предгорная лесостепь.

В геологическом строении месторождения выделяются две свиты (рис. 3): существенно осадочная – шипуновская и осадочно-вулканогенная – давидовская. Последняя разделена на пять горизонтов. Второй горизонт этой свиты является основной рудовмещающей толщей [9]. В ее составе установлено переслаивание углистых алевролитов, туфопесчанников, песчаников, брекчий, гравелитов и реже туфов кислого состава. Мощность толщи неравномерная, составляя в центральной части 100–130 м, а к флангам уменьшаясь на северо-запад до 40–50 м и на юго-восток до 10–20 м. Руды слагают линзовидные и пластообразные тела. Мощность рудной зоны в целом не постоянная и изменяется от первых до нескольких десятков метров. Содержание металлов в руде – 18 %. По простиранию рудное тело прослеживается с юго-востока на северо-запад более чем на два километра. В этом же направлении отмечается его погружение на глубину с углом склонения 20°. В пределах северо-западного участка, где были

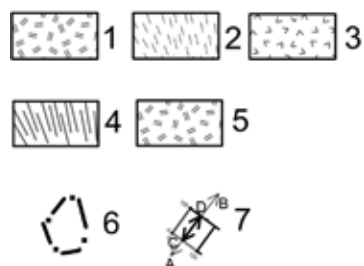
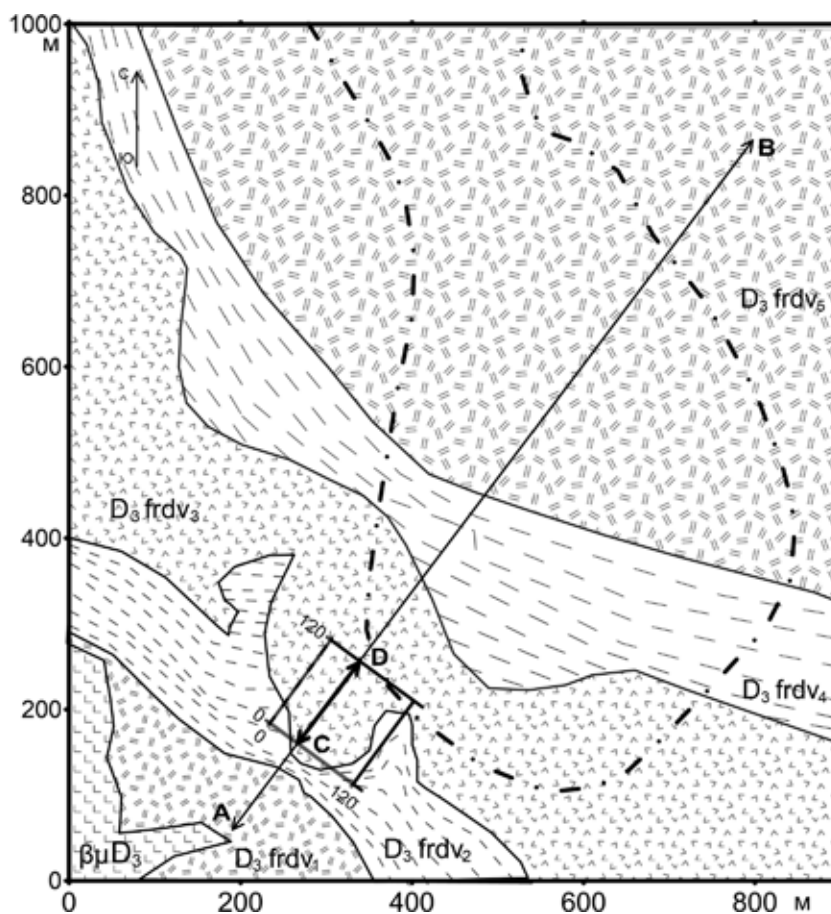


Рис. 3. Схематическая геологическая карта Корбалихинского месторождения [9]

1–5 – отложения Давыдовской свиты: 1 – алевролиты и алевропесчаники, 2 – туфопесчаники (основная рудовмещающая толща), 3 – полимиктовые песчаники, 4, 5 – туфы (4) и лавы (5) основного состава соответственно; 6 – проекция контура основного рудного тела на дневную поверхность; 7 – линия профиля АВ (МДИ, ЧИМ) с контуром площади детализационных работ



проведены исследования, руды существенно полиметаллические и колчеданно-полиметаллические. В северо-западной части месторождение перекрыто рыхлыми отложениями мощностью до 20 м.

Полученные результаты. Достоверность представленных данных контролировалась по стандартным геохимическим методикам путем проведения контрольных наблюдений. По всем методам и для всех анализируемых химических элементов значения случайных средних отклонений концентраций не превышало 1,4, что меньше допустимого 1,6 [17].

Повторные наблюдения осуществлялись не только в пределах одного полевого сезона, но и ряда лет. В качестве примера на рис. 4 приведены результаты наблюдений МДИ с 1985 по 1989 г. по профилю VII Захаровского месторождения (положение профиля см. на рис. 1).

По результатам наблюдений положение аномальной зоны фиксируется устойчивыми повышенными значениями содержаний как свинца, так и меди. Например, в аномальной точке 180 м содержание свинца в пробах – 11,2 г/т при среднеквадратичном отклонении 2,3 г/т, а меди – 7,2 г/т при среднеквадратичном отклонении 1,3 г/т. Возможные пределы таких изменений будут показаны в дальнейшем при рассмотрении результатов детальных работ на каждом из исследованных участков.

При проведении геохимических работ на разведанных месторождениях необходимо учитывать возможность техногенного заражения проб извлеченным на поверхность рудным материалом (керном скважин и т. п.). Для оценки возможного техногенного заражения были проведены наблюдения МДИ с шагом 0,5 м по крестовым профилям, пересекающим устья скважин, вскрывших рудные интервалы. Вблизи большинства рудных скважин аномалий МДИ на дневной поверхности не выявлено. Однако аномальные концентрации меди и свинца были зафиксированы на расстоянии до 2–3 м от устьев разведочных скважин 189 и 542 Рубцовского месторождения, что совпадает с местоположением зумфов скважин. При удалении от этих скважин на большее расстояние наблюдались только фоновые содержания элементов. Фоновые содержания свинца и меди МДИ фиксировались также уже на глубинах 0,5 и 1 м непосредственно в районе техногенного заражения скважин. Учитывая эти данные, отбор проб на каждом из участков проводился на удалении не менее 5 м от мест заложения разведочных скважин, которые определялись по детальной карте результатов разведочных работ, любезно предоставленной сотрудниками Рудно-Алтайской ГРЭ и при их содействии.

Захаровское месторождение. Наблюдения комплексом методом проводились по двум профилям VII и XIII (см. рис. 1). Стандартной

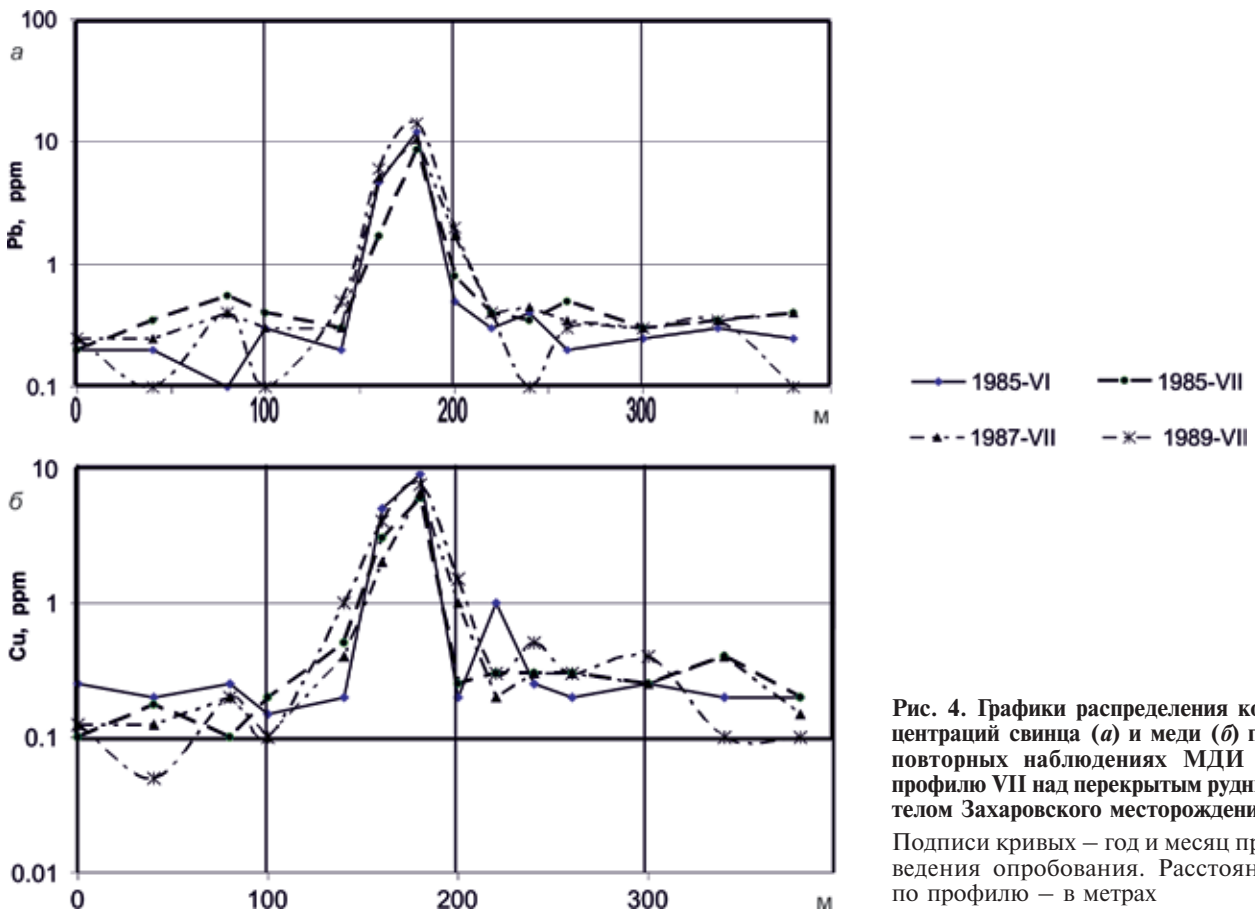


Рис. 4. Графики распределения концентраций свинца (а) и меди (б) при повторных наблюдениях МДИ по профилю VII над перекрытым рудным телом Захаровского месторождения. Подписи кривых – год и месяц проведения опробования. Расстояние по профилю – в метрах

литохимической съемкой была выявлена слабо-контрастная аномалия свинца только по профилю VII (рис. 5, А). По профилю XIII наблюдались фоновые содержания свинца и меди.

Результаты наблюдений МПФ и ТМГМ показали резкое увеличение концентраций свинца и меди в пределах проекции рудных тел на дневную поверхность (рис. 5, В–Е).

При проведении работ МДИ по сети 20 × 50 м по профилям V–XVII были выявлены три аномальные зоны свинца и меди (см. рис. 1). Наиболее крупные из этих зон приурочены к проекции головных частей рудных тел на дневную поверхность.

При геофизических наблюдениях по профилю XIII в зоне проекции головы рудного тела на дневную поверхность по отношению к другим

участкам профиля зафиксировано уменьшение кажущегося удельного электрического сопротивления пород (с 10–12 до 6–7 Ом·м) с увеличением температуры почв (на 2–2,5 °С). Для выяснения причин понижения удельного электрического сопротивления почв проводилось измерение рН водных почвенных вытяжек. Вне аномальной, по геохимическим данным, зоны значения рН были довольно однородными слабощелочными и изменялись в пределах 8,0–8,2, в то время как в ее пределах они уменьшались до слабокислых и составляли в ее эпицентре 6,3–6,5.

В пределах наиболее обширной аномальной зоны в районе разведочного профиля XIII (см. рис. 1) проводились детальные наблюдения по сети 10 × 5 м комплексом геохимических

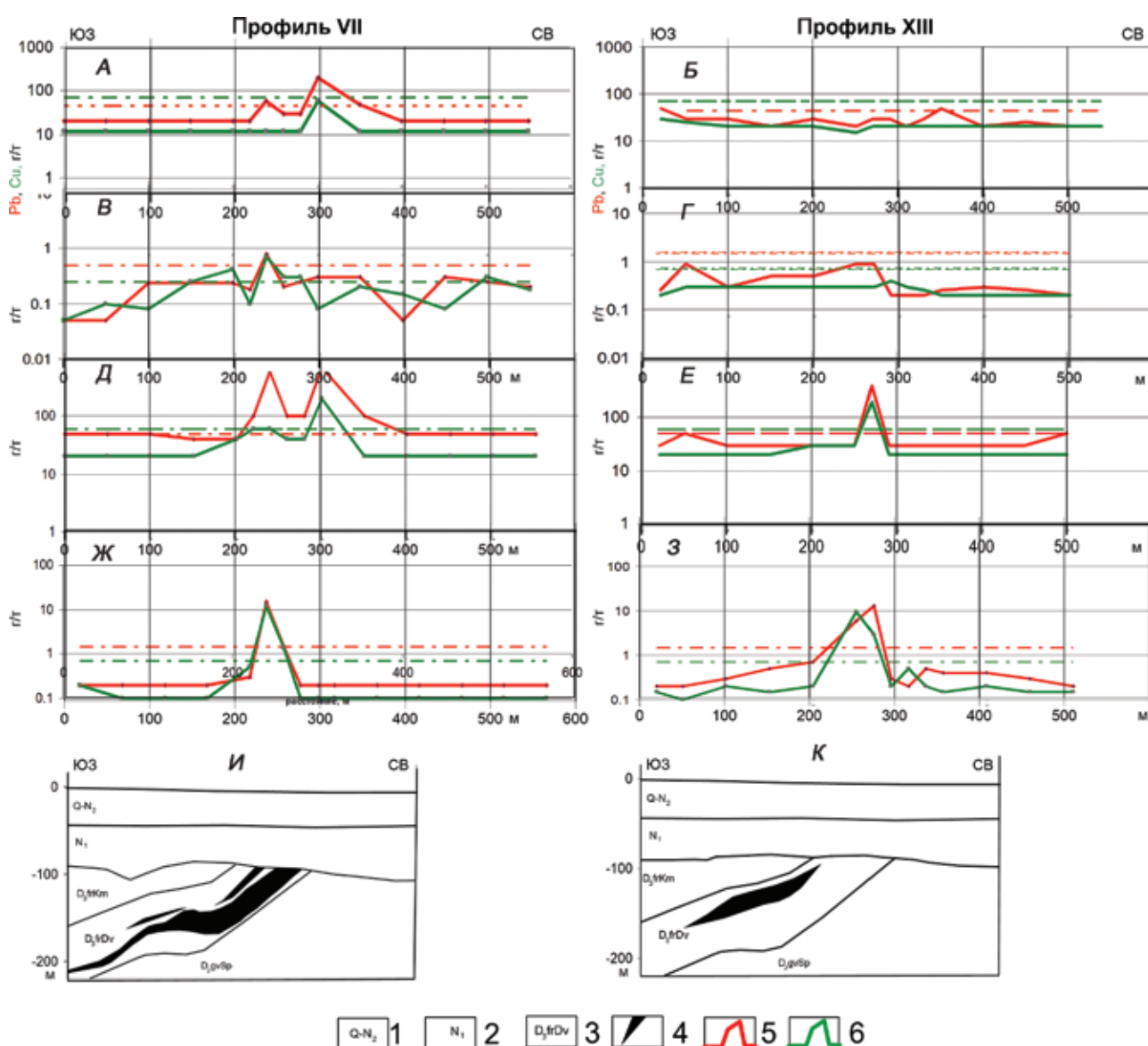


Рис. 5. Схематические геологические разрезы по профилям VII (И) и XIII (К) Захаровского месторождения и результаты наблюдений геохимическими методами

Пунктирные линии – уровни минимально аномальных содержаний для свинца (красная) и меди (зеленая). А, Б – стандартная литохимическая съемка; В, Г – МПФ; Д, Е – ТМГМ; Ж, З – МДИ.

1–3 – отложения: 1 – неоген-четвертичные, 2 – неогеновые, 3 – девона; 4 – рудные тела; 5, 6 – графики распределения содержания свинца (5) и меди (6)

методов. Наблюдения МПФ и атмосферическая съемка по металлам проводились только в пределах детализационной площади, по остальным методам — с выходом за ее пределы на 20 м в северо-западном направлении. Здесь и во всех других случаях положение контуров аномальных зон определялось по стандартной геохимической методике (табл. 2, рис. 6).

В табл. 2 приведены статистические параметры распределений концентраций свинца, меди и углекислого газа в пределах детализационной площади. В последних столбцах по каждому элементу даны значения площадей аномальных зон, выделенных на рис. 6.

Аномальная зона в пределах детализационной площади наблюдается только вблизи ее северного фланга. При этом отмечается тенденция к увеличению числа точек с аномальными концентрациями металлов (соответственно, и к возрастанию площади аномальной зоны) при использовании методов, основанных на анализе более подвижных форм нахождения химических элементов.

Наиболее широкий и полный спектр форм нахождения металлов фиксируется при валовом анализе пробы в ходе стандартной литохимической съемки. По этому методу в пределах детализационной площади аномалии с показателями контрастности 4,2–4 зафиксированы в пяти точках (рис. 6, А). Примерно в два раза большее количество аномальных точек наблюдается по ТМГМ (рис. 6, Б). При этом площади аномалий по свинцу и меди примерно одинаковые. По

МПФ (рис. 6, В) отмечаются аномалия меди, примерно соответствующая контуру аномалии ТМГМ, и значительно меньшая по площади аномалия свинца.

Контур аномалий МДИ приведены на рис. 6, Д. Площадь и контрастность аномалий свинца МДИ почти в два раза превышает площадь аномалий меди (табл. 2). В ряде проб была определена концентрация цинка, аномалии которого пространственно совпадают с аномалиями свинца и меди. В методах ЧИМ (рис. 6, Е) и атмосферической съемке по металлам (рис. 6, Г) площади аномальных зон примерно соответствуют аномальным зонам ТМГМ и МПФ.

В районе выявленных аномалий зафиксированы повышенные концентрации углекислого газа в почвенном воздухе (рис. 6, Ж). Их максимальные значения совпадают с максимальными по свинцу и меди (профиль 0). Наблюдаемые аномальные зоны, частично совпадающие по методам МДИ и ЧИМ, смещены в северо-восточном направлении от аномалий концентрации углекислого газа.

Максимальные концентрации металлов МДИ, ЧИМ, атмосферической съемки по металлам и CO_2 совпадают между собой. Эта зона характеризуется максимальными значениями температуры и минимальными — рН и удельного электрического сопротивления.

Сопоставление значений контрастности и площади аномалий (табл. 2) позволяет сделать вывод, что литохимическая съемка дает в несколько раз

Таблица 2

Параметры распределений содержаний свинца и меди в наложенных ореолах рассеяния, выявленные различными методами в пределах детальной площади Захаровского месторождения (сеть наблюдений 10 × 5 м)

Параметры	Литохимическая съемка	ТМГМ	МПФ	МДИ, поверхность	МДИ, глубина 2 м	ЧИМ	Атмосферическая, Cu, Pb	Атм. съемка, CO_2
	г/т					мкг	нг/м ³	об. %
Свинец								
Фоновое ($C_{\text{ф}}$)	15	20	0,2	0,6	0,25	2	11	0,1
Ст. отклонение (S)	10	10	0,1	0,3	0,1	1	7	0,08
Минимально аномальное ($C_{\text{ф}} + 3S$)	45	50	0,5	1,5	0,5	5	32	0,34
Контрастность аномалии ($C_{\text{макс}} - C_{\text{ф}})/S$	4,2	30	8	12	300	17	7	30
Площадь аномальной зоны, м ²	110	575	540	1010	145	520	460	660
Медь								
Фоновое ($C_{\text{ф}}$)	25	30	0,1	0,25	0,1	1	40	
Ст. отклонение (S)	15	10	0,05	0,15	0,04	0,5	20	
Минимально аномальное ($C_{\text{ф}} + 3S$)	70	60	0,25	0,7	0,21	2,5	100	
Контрастность аномалии ($C_{\text{макс}} - C_{\text{ф}})/S$	4	7	12	55	500	24	6	
Площадь аномальной зоны, м ²	150	365	220	610	87	25	580	

меньшие значения, чем геоэлектрохимические методы, что обуславливается их физико-химической сущностью [13].

Изучение пространственной структуры наложенных ореолов рассеяния на Захаровском месторождении проводилось путем детализации аномальных зон и изучения распределения содержаний химических элементов на глубину до 2,5 м. На рис. 7 приведены результаты наблюдений МДИ по профилю, пересекающему эпицентр аномалии с варьирующим шагом наблюдений от 50 до 0,5 м (в последнем случае элементоприемники МДИ по линии профиля располагались последовательно друг за другом).

При шаге съемки 50 м аномальные содержания свинца и меди на профиле наблюдаются всего в одной точке. С уменьшением шага съемки до 20 м эта аномалия разделяется на две, при последующем уменьшении шага съемки до 0,5 м отмечается аномальная зона протяженностью 25 м. В пределах этой зоны фиксируются как обогащенные, так и несколько обедненные свинцом и медью участки. При этом смещение точки отбора проб всего на 0,5 м может приводить к двух- и трехкратному изменению концентраций. Однако содержание свинца в каждой отдельно взятой точке может считаться аномальным, так как превышает сумму фоновой концентрации и утроенного значения стандартного отклонения.

Для изучения распределения концентраций химических элементов по глубине в пределах выявленной аномальной зоны было пройдено пять канав. Канавы 1 и 2 проходились в течение пяти дней с ежедневным углублением на 0,5 м. На каждом из горизонтов проводились наблюдения МДИ с шагом 0,5 м и анализом растворов на медь и свинец, а также определение содержания углекислого газа. Следует отметить, что уже с глубины 0,5 м извлекаемый грунт имел зеленовато-серую окраску, но выброшенный на дневную поверхность в течение одного-двух дней приобретал бурый цвет, вероятно, из-за окисления на дневной поверхности соединений двухвалентного железа.

Распределения концентраций свинца, меди и углекислого газа по глубине канавы 2 приведены на рис. 8.

Наиболее интенсивные и широкие ореолы наблюдаются по свинцу МДИ (см. рис. 6, Б). По мере увеличения глубины наблюдаемые ореолы свинца и меди сужаются от 25 м на поверхности до 10 м на глубине 1,5 м. Наибольшая ширина ореола наблюдается в почвенном слое. Далее до глубины 2,5 м ширина аномальной зоны остается примерно постоянной. При этом сохраняется ее высокая контрастность. Особое значение, на наш взгляд, имеет удовлетворительная корреляция между собой содержаниями металлов МДИ и углекислого газа. Возможно, этот газ, наряду с другими, в данном случае участвует в переносе металлов в виде струйных ореолов рассеяния [14; 23].

Канавы 3 и 4 проходились с целью прослеживания по площади ореолов на глубине 2 м после оперативного получения результатов по канавам 1 и 2. После прослеживания ореола по канаве 4 в его эпицентре была задана канава 5. Схема ореолов свинца и меди на глубине 2 м с положением пройденных канав приведена на рис. 9.

Из полученных данных следует резко уменьшение площадей аномальных зон МДИ с глубиной (рис. 6, Г и 9). Предполагаемое простирание аномальной зоны между канавами 3 и 4 отмечено на рис. 9 пунктирной линией. Количественное сравнение площадей аномальных зон МДИ как свинца, так и меди показывает почти порядковое их уменьшение с увеличением глубины (табл. 2).

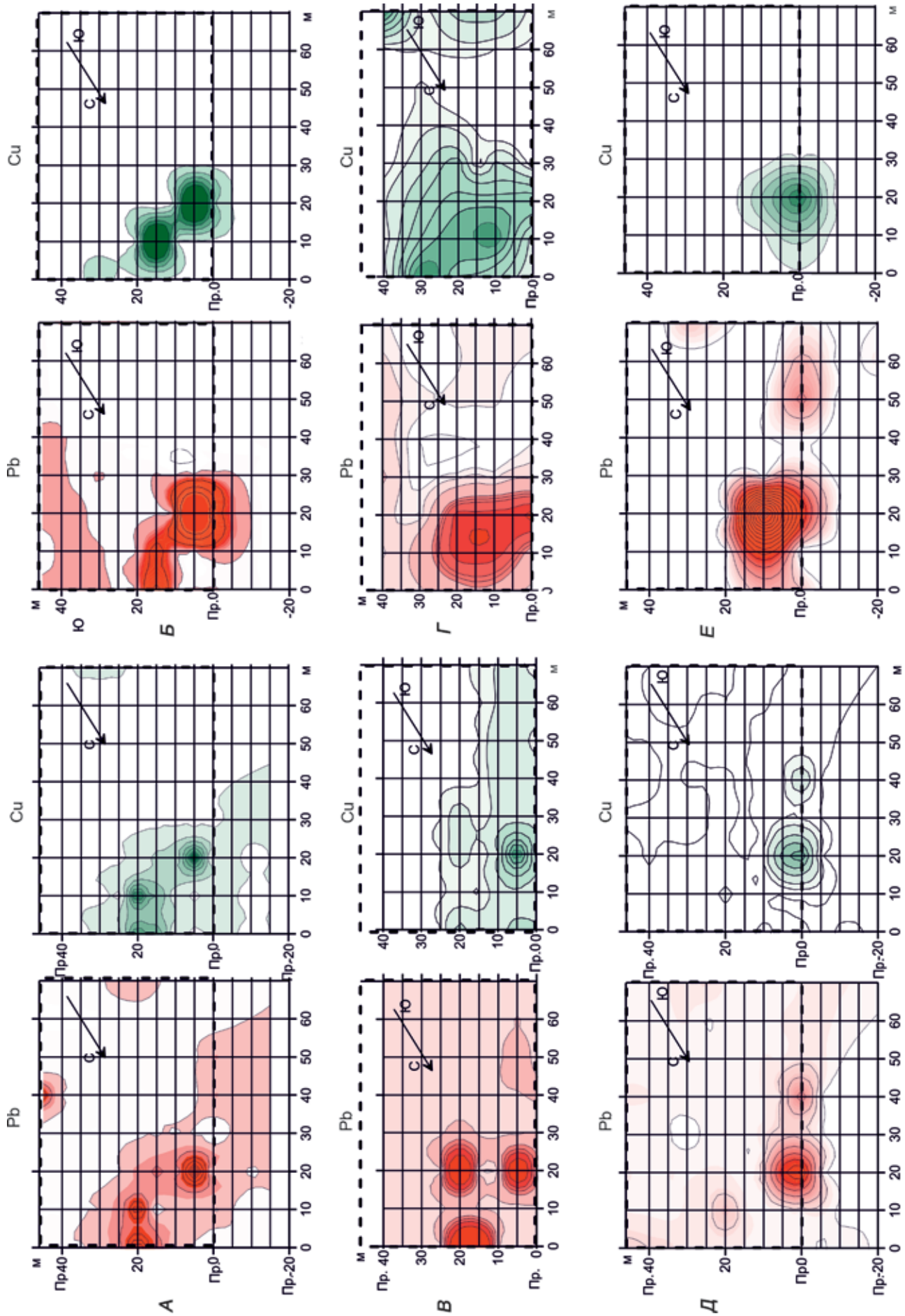
Рубцовское месторождение. На рис. 2 приведена карта распределения ореолов МДИ на площади Рубцовского месторождения. Наблюдаемый на поверхности ореол свинца в пределах изученной площади имеет размеры по простиранию рудного тела 450 м, а по направлению его падения — 250 м. Ореол меди МДИ значительно меньших размеров. На территории Рубцовского месторождения проводился целый комплекс геохимических работ. Статистические параметры распределения концентраций свинца и меди приведены в табл. 3.

Результаты наблюдений по профилю 4, пересекающему наиболее богатое и выходящее на эрозионный срез рудное тело мощностью 25 м (рис. 10), демонстрируют, что выход головы рудного тела фиксируется контрастными аномалиями МДИ, ЧИМ и менее контрастной МПФ. Аномалия ТМГМ смещена на 100 м в сторону падения рудного тела. В этом же месте наблюдается и аномалия стандартной литохимической съемки. Следует отметить, что положение двух последних аномалий совпадает с сильно засоленным руслом ручья. В целом распределение форм нахождения элементов такое же, как на Захаровском месторождении: аномалия ТМГМ совпадает с валовой концентрацией элементов в почвах, но более контрастна; аномалия МПФ более протяженная и менее контрастная, чем по электроподвижным (ЧИМ), подвижным и слабозакрепленным (МДИ) формам нахождения.

Результаты детализационной съемки МДИ с шагом 0,5 м (рис. 10, Ж) позволяют сделать вывод, что на всем интервале 300–319 м наблюдаются только фоновые содержания свинца и меди. В интервале 320–365 м фиксируется аномальная зона протяженностью 45 м.

Следует отметить, что, по геологическим данным, проекция головы рудного тела на дневную поверхность приходится на интервал 320–335 м профиля 4 (см. рис. 2). Наиболее интенсивные аномалии отмечаются на двадцати пятиметровом интервале 330–345 м. В интервале 335–345 м амплитуда аномалии меди превышает таковую у свинца.

В пределах выявленной аномалии (см. рис. 2) на площади 80 × 50 м проведена съемка МДИ по сети 10 × 10 м (рис. 11).



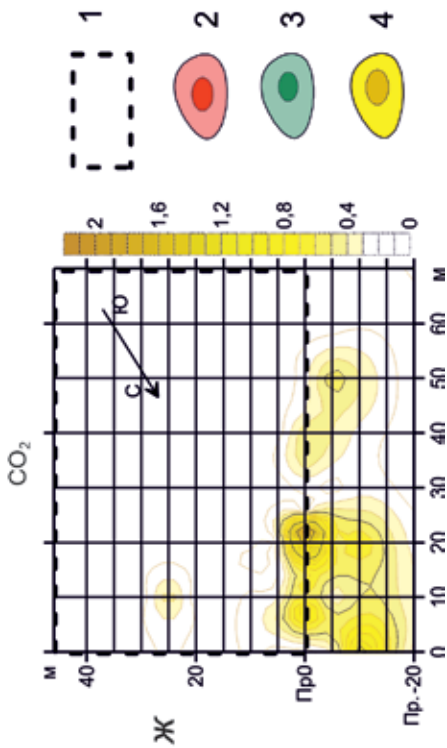


Рис. 6. Карты распределения аномальных содержаний элементов на дневной поверхности в пределах детализационной площади Захаровского месторождения
 А – литохимическая съемка; Б – ТМГМ; В – МПФ; Г – атмосферическая съемка на металлы;
 Д – МДИ; Е – ЧИМ; Ж – атмосферическая съемка подпочвенного воздуха на CO₂.
 1 – контур детализационной площади; 2–4 – ореолы аномальных содержаний: 2 – свинца, 3 – меди, 4 – углекислого газа

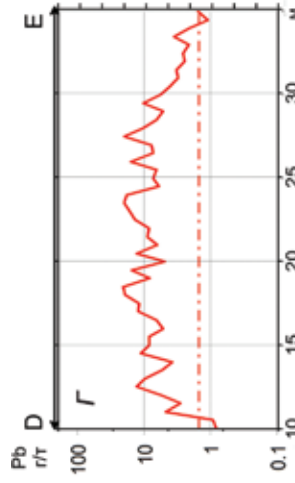
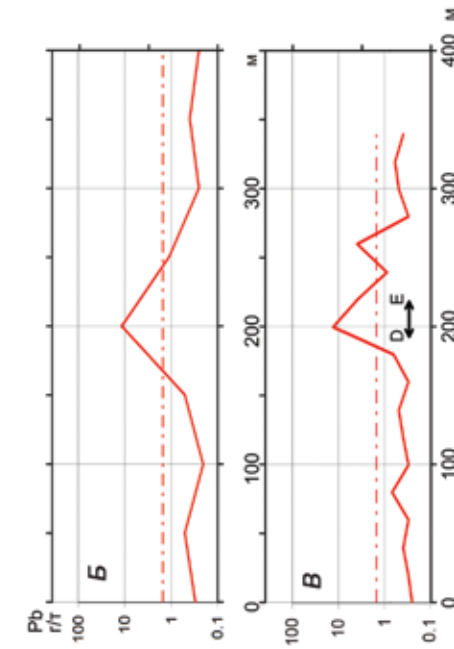


Рис. 7. Схематический геологический разрез по профилю ХПЗ Захаровского месторождения (А) и графики извлечения свинца МДИ с различным шагом съемки и профилям VII (Б, В) и 0 детализационной площади (Г)
 Шаг отбора проб по профилю ХПЗ: Б – 50 м, В – 20 м; по профилю 0 детализационной площади Г – 0,5 м. Усл. обозн. разреза см. на рис. 5

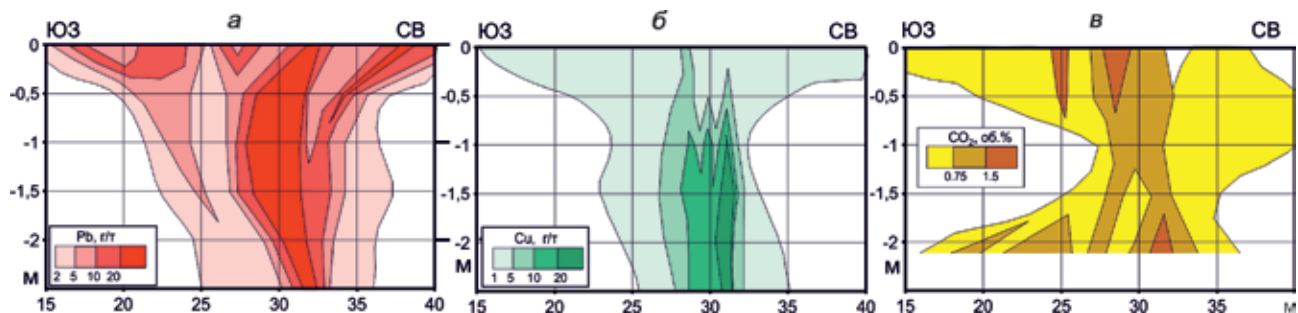


Рис. 8. Распределение содержаний химических элементов МДИ: свинца (а), меди (б) и углекислого газа (в) в разрезе канавы 2 (интервал DE по профилю 0 детализационной площади)

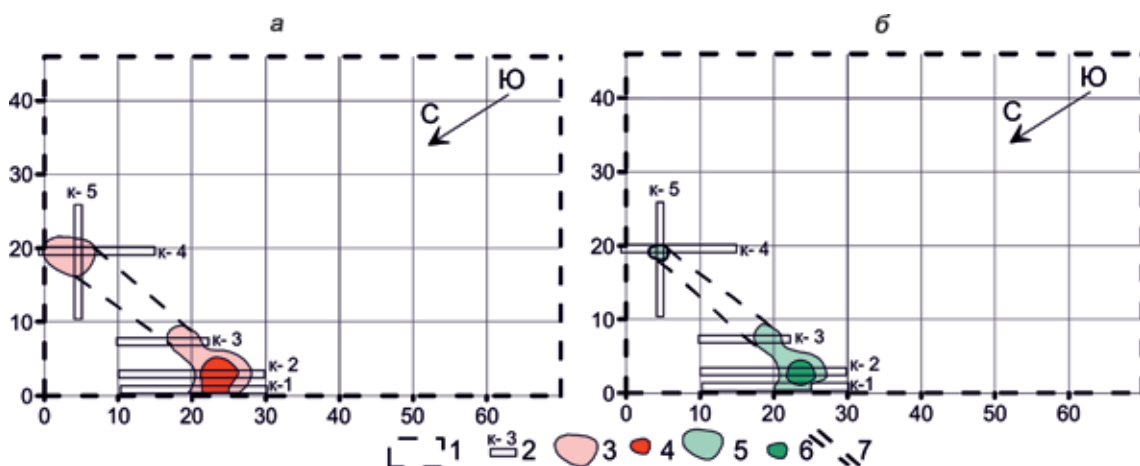


Рис. 9. Ореолы свинца (а) и меди (б) МДИ на глубине 2 м в пределах детализационной площади Захаровского месторождения

1 – контур детализационной площади; 2 – положение канав и их номера; 3, 4 – зоны аномальных содержаний свинца с контрастностью 3–5 (3) и > 5 (4); 5, 6 – зоны аномальных содержаний меди с контрастностью 3–5 (5) и > 5 (6); 7 – предполагаемое положение аномальной зоны на глубине 2 м

Таблица 3

Параметры распределений содержаний свинца и меди в наложенных ореолах рассеяния, выявленные различными методами в пределах Рубцовского месторождения

Параметры	Литохимическая съемка	ТМГМ	МПФ	МДИ, поверхность	МДИ, глубина 1,2 м	ЧИМ
	г/т					мкг
Свинец						
Фоновое (C_{ϕ})	20	30	0,25	0,7	0,22	3
Ст. отклонение (S)	15	20	0,07	0,35	0,11	1
Минимально аномальное ($C_{\phi} + 3S$)	75	90	0,41	1,75	0,55	6
Контрастность аномалии ($C_{\max} - C_{\phi}$)/S	7	55	30	40	720	40
Медь						
Фоновое (C_{ϕ})	35	40	0,1	0,35	0,11	2
Ст. отклонение (S)	15	15	0,05	0,13	0,06	1
Минимально аномальное ($C_{\phi} + 3S$)	80	85	0,25	0,75	0,3	5
Контрастность аномалии ($C_{\max} - C_{\phi}$)/S	4	5	8	95	900	16

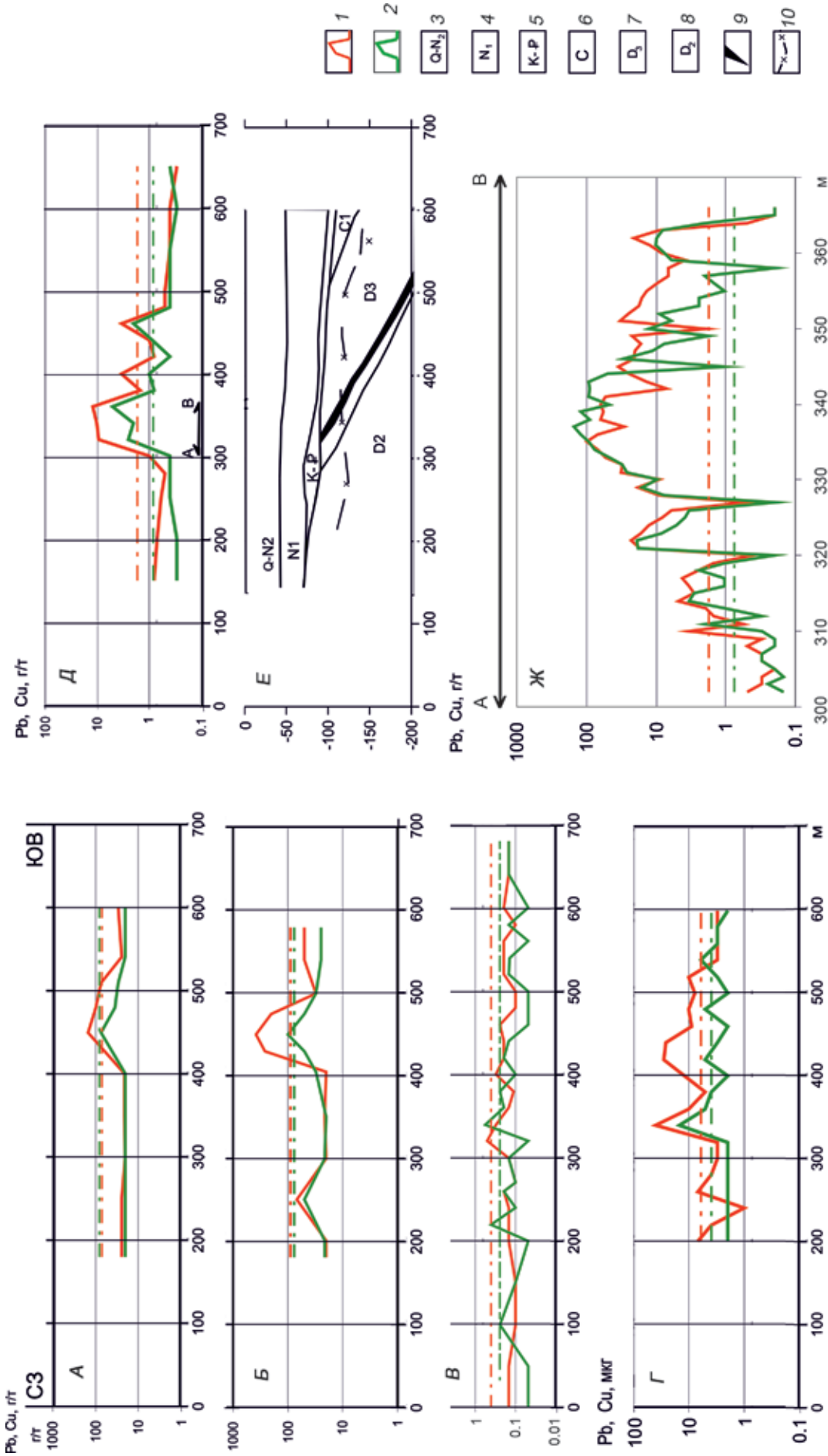


Рис. 10. Результаты наблюдений комплексом методов по профилю 4 Рубцовского месторождения

Пунктирные линии – уровни минимально аномальных содержаний для свинца (красная) и меди (зеленая). А – стандартная литохимическая съемка; Б – ТМГМ с шагом 50 м; В – МПФ с шагом 20 м; Г – ЧИМ с шагом 20 м; Д – МДИ с шагом 20 м с указанием положения профиля АВ сплошного опробования; Е – схематический геологический разрез; Ж – графики распределения свинца и меди МДИ по линии АВ профиля 4 с шагом 0,5 м.
 1, 2 – графики содержаний свинца (1) и меди (2); 3–10 – обозначения к разрезу Е; 3–8 – отложения; 4 – неоген-четвертичные, 5 – мел-палеогеновые, 6 – нижнего карбона, 7 – верхнего девона, 8 – среднего девона, 9 – рудное тело, 10 – нижняя граница коры выветривания

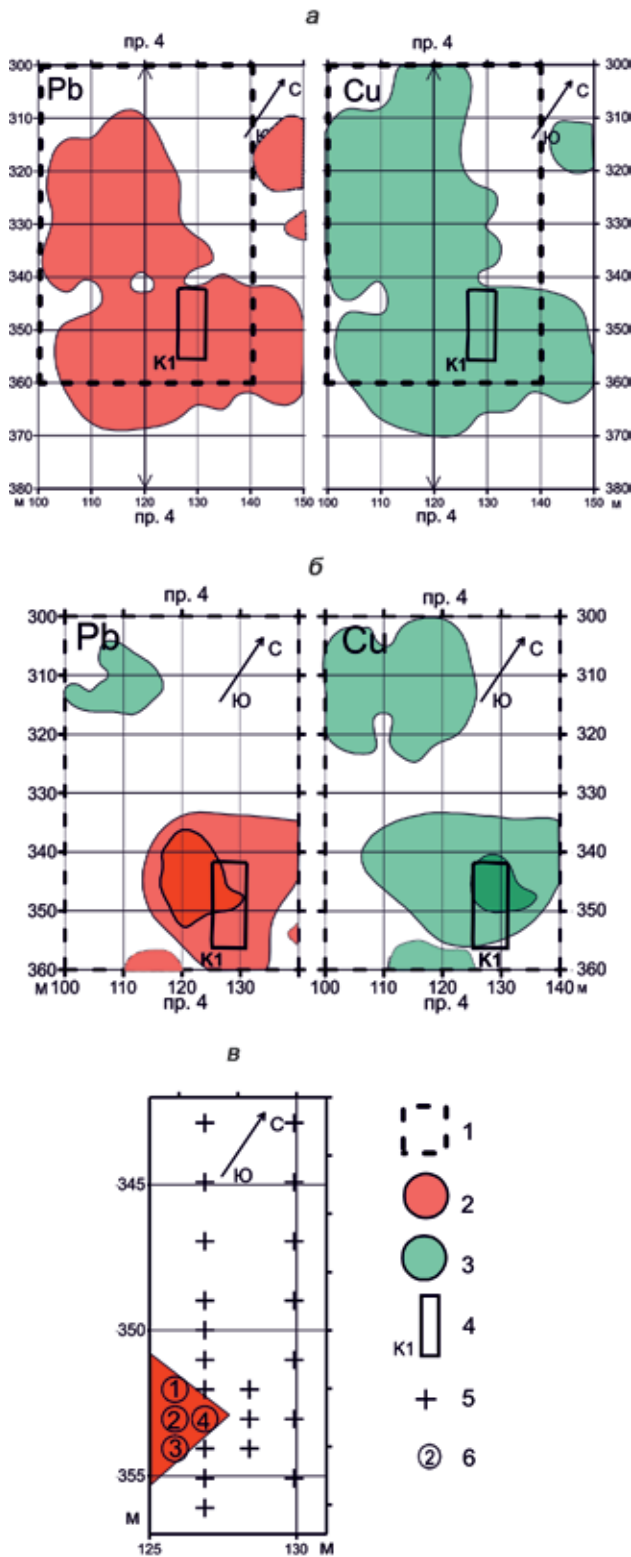


Рис. 11. Распределение наложенных ореолов свинца и меди МДИ по сети 10 × 10 м в пределах детализационной площади Рубцовского месторождения

а – на дневной поверхности; **б** – на глубине 0,5 м; **в** – положение точек отбора проб МДИ на глубине 1,2 м.

1–3 – контуры: детализационной площади (1), наложенных ореолов МДИ свинца (2) и меди (3); 4 – положение канавы глубиной 1,2 м; 5, 6 – точки опробования по канаве с фоновыми (5) и аномальными (6) содержаниями свинца и меди МДИ (для точек с аномальными содержаниями указаны номера)

На этой площади отмечена аномальная зона по свинцу и меди шириной 30 м и протяженностью 60 м. Часть аномальной зоны площадью 60 × 40 м, выделенная пунктиром на рис. 11, **а**, была зачищена скрепером на глубину 0,5 м с последующим проведением работ МДИ по сети 5 × 5 м. На глубине 0,5 м эта аномальная зона разделилась на две: южную и северную (рис. 11, **б**). В пределах южной аномальной зоны были проведены исследования на глубине 1,2 м, в результате которых выявлена аномалия МДИ (рис. 11, **в**) с контрастностью, превышающей таковую у аномалий на Захаровском месторождении в целом (см. табл. 3), что можно объяснить условиями залегания рудных тел (слепо-погребенное и погребенное), более богатыми рудами и интенсивной зоной окисления.

Корбалихинское месторождение.

Рудные тела этого месторождения находятся в слепом залегании. Мощность аллохтонных отложений значительно меньше, чем на рассмотренных ранее участках. На рис. 12 приведены результаты наблюдений МДИ и ЧИМ по линии АВ (см. рис. 3), пересекающей проекции рудных тел на дневную поверхность. При перемещении по профилю с юго-запада на северо-восток наблюдается синхронность проявления аномалий МДИ и ЧИМ. Первые аномальные точки отмечаются непосредственно в пределах выхода на дневную поверхность рудовмещающей толщи, где на сравнительно небольшой глубине наблюдаются небольшие рудные тела, перекрытые рыхлыми отложениями мощностью до 20 м. Аномальные значения содержания свинца в 3–4 раза превышают аномалии меди. С 360 по 400 м профилю наблюдаются практически фоновые содержания свинца и слабоконтрастные аномалии меди МДИ. Интенсивные аномалии меди и свинца как МДИ, так и ЧИМ отмечаются в районе 600–650 м профиля, что соответствует изменениям состава металлов в руде.

В пределах одной из аномальных зон на площади 120 × 120 м проведены более детальные наблюдения МДИ по сети 20 × 40 м по профилю СД (рис. 12, 13).

Аномальная зона по свинцу (рис. 13, **а**) занимает больше половины исследуемой площади, в то время как по меди выявлены аномалии значительно меньших размеров. В пределах площади, обведенной на рис. 13, **а** пунктиром, проведены детализационные наблюдения МДИ по сети 5 × 5 м. Элементоприемники устанавливались на дно шпуров диаметром 0,8 м и глубиной 2 м. В табл. 4 приведены параметры распределений содержаний химических элементов.

По отношению к ранее рассмотренным Захаровскому и Рубцовскому месторождениям фоновые содержания свинца и меди МДИ на дневной поверхности на Корбалихинском месторождении оказались выше в 1,3 раза, а на глубине 2 м по меди – практически в 3 раза, что, очевидно, связано с небольшой мощностью перекрывающих

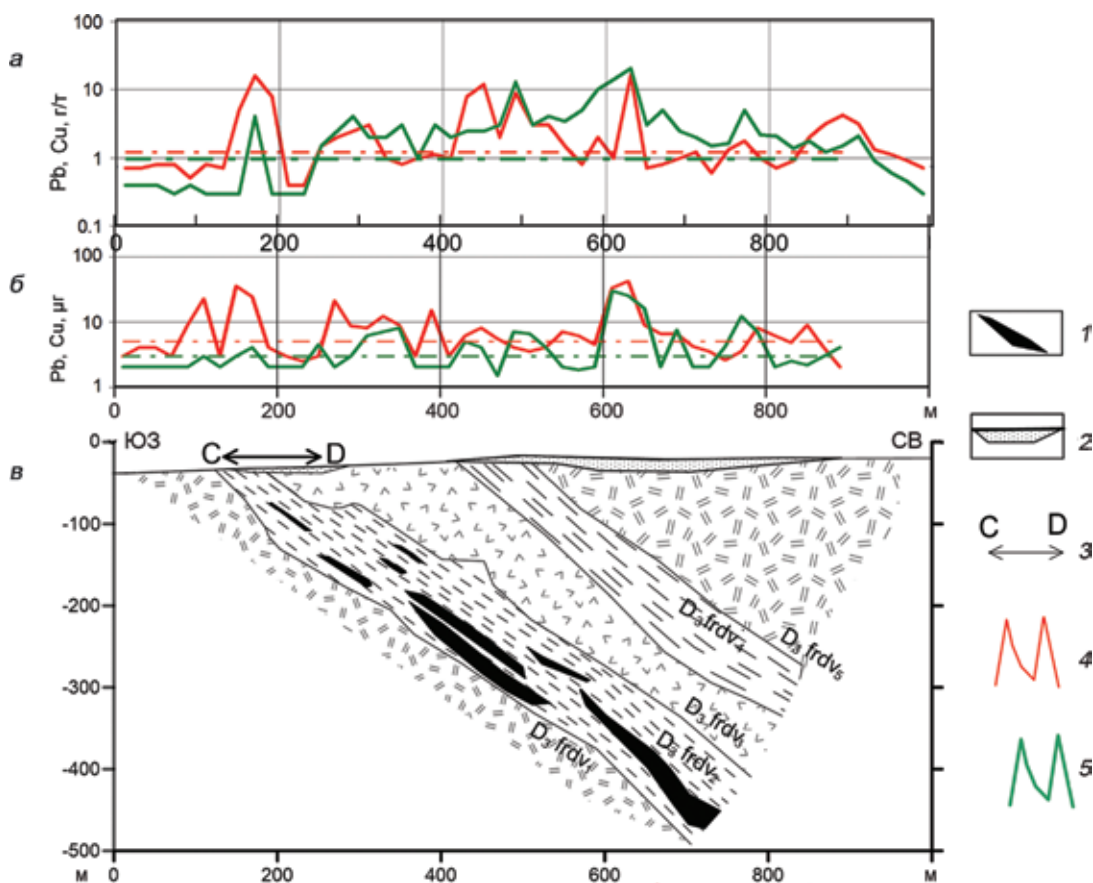


Рис. 12. Схематический геологический разрез по профилю АВ (см. рис. 3) Корбалихинского месторождения (v) и графики распределения содержаний свинца и меди МДИ (a) и ЧИМ (б) по этому профилю

Пунктирные линии – уровни минимально аномальных содержаний для свинца (красная) и меди (зеленая). 1 – рудные тела; 2 – рыхлые отложения; 3 – линия профиля CD на площади детализационных работ; 4, 5 – графики распределения содержаний свинца (4) и меди (5) МДИ по профилю АВ. Остальные обозн. см. на рис. 3

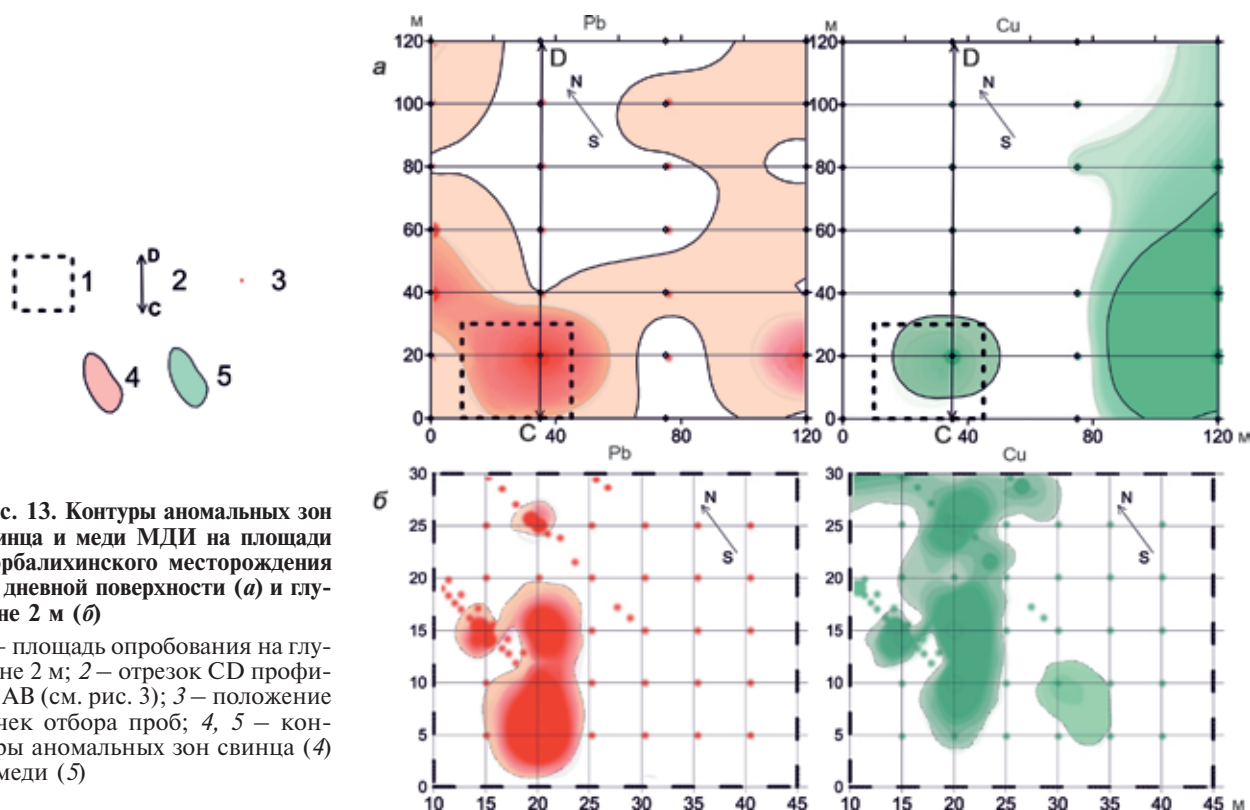


Рис. 13. Контуры аномальных зон свинца и меди МДИ на площади Корбалихинского месторождения на дневной поверхности (a) и глубине 2 м (б)

1 – площадь опробования на глубине 2 м; 2 – отрезок CD профиля АВ (см. рис. 3); 3 – положение точек отбора проб; 4, 5 – контуры аномальных зон свинца (4) и меди (5)

Таблица 4

**Параметры распределений содержаний свинца
и меди МДИ в пределах детализационной площади
Корбалихинского месторождения**

Параметры	МДИ, поверх- ность	МДИ, глубина 2 м	ЧИМ
	г/т		мкг
Свинец			
Фоновое (C_{ϕ})	0,84	0,33	2
Ст. отклонение (S)	0,12	0,09	1
Минимально аномальное ($C_{\phi} + 3S$)	1,2	0,68	5
Контрастность аномалии ($C_{\max} - C_{\phi}$)/S	17,4	17	46
Медь			
Фоновое (C_{ϕ})	0,47	0,29	1,5
Ст. отклонение (S)	0,17	0,1	0,5
Минимально аномальное ($C_{\phi} + 3S$)	0,98	0,59	3
Контрастность аномалии ($C_{\max} - C_{\phi}$)/S	9	4,6	23

отложений. Максимальная контрастность аномалий МДИ на Корбалихинском месторождении несколько ниже, чем на рассмотренных ранее участках.

Площади аномальных зон свинца и меди МДИ на глубине 2 м составляют соответственно 215 и 130 м² (рис. 13, б). Сравнивая площади аномальных зон на дневной поверхности (по свинцу практически всю площадь 1050 м² можно считать аномальной) и на глубине 2 м отметим, что с увеличением глубины площадь аномальной зоны сократилась в 5 раз.

Обсуждение результатов. Несмотря на сложные условия применения геохимических методов (большая мощность перекрывающих рыхлых отложений, слепое залегание рудных тел), на всех участках удалось обнаружить на дневной поверхности наложенные ореолы рассеяния глубокозалегающих рудных тел. Ширина ореолов на Захаровском и Рубцовском месторождениях вкрест простирания рудных тел составляет 50–200 м, а по простиранию – 50–500 м. Для выявления таких ореолов при шаге отбора проб 50 м следует принимать во внимание даже отдельные точки с аномальными содержаниями элементов. По профилю, пересекающему Корбалихинское месторождение, отмечена широкая аномальная зона протяженностью не менее 900 м.

При уменьшении шага отбора проб до 10–20 м обнаруженные аномалии разделяются на несколько зон площадью 500–1000 м² на Захаровском и Рубцовском месторождениях. При более детальных исследованиях (сеть 10 × 5 м) ореолы фиксируются всеми геохимическими методами, включая стандартную литохимическую съемку

(см. рис. 6, А), и пространственно совпадают. Появление ореола валовых концентраций химических элементов может объясняться наличием геохимического барьера вблизи дневной поверхности (в данном случае – почва, насыщенная органическим веществом). На таком барьере часть металлов переходит в более закрепленные формы нахождения. Некоторые из них, мигрирующих из глубины с потоком газа, могут фиксироваться и в приповерхностном слое воздуха (см. рис. 6, Е). Вместе с тем намечается тенденция увеличения площади ореола с увеличением подвижности анализируемых форм нахождения металлов.

Контрастность выявленных аномалий также зависит от изучаемых форм их нахождения. Наибольшая контрастность наблюдается в МДИ, ТМГМ и ЧИМ (см. табл. 2, 3). На месторождениях с развитой зоной окисления, хотя и более глубоко погребенными рудными телами (Захаровское и Рубцовское), коэффициент контрастности аномалий выше, чем на Корбалихинском. В свою очередь на Рубцовском месторождении с наиболее сильно выраженной корой выветривания контрастность аномалий выше, чем на Захаровском. Это позволяет предположить, что зона окисления, несмотря на значительную мощность перекрывающих отложений, – мощный источник ореолообразования.

Детальное изучение ореолов МДИ (с шагом 0,5 м, см. рис. 7, Г и 10, Ж) продемонстрировало существенную неравномерность распределения металлов. При этом распределение аномальных содержаний (разность между концентрацией в точке наблюдения и фоновым значением) не противоречит логнормальному закону (расчетные значения критерия Колмогорова не превышают 0,5), который часто встречается при описании природных процессов. Сравнение расчетных средних содержаний свинца и меди МДИ в аномальных зонах Рубцовского и Захаровского месторождений (18 и 8 г/т соответственно) показывает, что первые более чем в два раза больше вторых. Контрастность аномалий свинца и меди МДИ на Рубцовском месторождении также выше, чем на Захаровском. Таким образом, аномальные содержания металлов в ореолах Рубцовского месторождения выше, чем Захаровского при сравнительно одной и той же мощности перекрывающих отложений. Такое соотношение может быть связано с более интенсивным протеканием процессов окисления руд и развитием мощной коры выветривания на Рубцовском месторождении. Процессы окисления способствуют переходу металлов из сульфидных форм нахождения в подвижное состояние и интенсифицируют образование наложенных ореолов рассеяния, в том числе струйных.

Вновь приведенные данные по изучению распределения содержаний свинца и меди по глубине (см. рис. 8) соответствуют предложенной ранее гипотезе о струйной миграции веществ при образовании наложенных ореолов. Пространственное

соответствие распределений концентраций углекислого газа, свинца и меди МДИ по глубине (см. рис. 8, в) доказывает, что и этот газ, образующийся, в частности, в зоне окисления сульфидных руд, наряду с другими глубинными газами (метаном, водородом), может являться переносчиком металлов.

При сравнении площадей аномальных зон на различных горизонтах отбора проб для всех трех рассмотренных участков можно заметить их резкое уменьшение с глубиной (рис. 14). На глубине 0,5 м, фактически на границе почвенного слоя, площадь аномальной зоны по отношению к дневной поверхности уменьшается более чем в два раза. На глубине 1–1,5 м графики выходят на асимптоту. На этих глубинах площадь аномалии уменьшается почти на порядок по отношению к площади на дневной поверхности. При этом на месторождениях с большой мощностью перекрывающих рыхлых отложений и развитой зоной окисления контрастность аномалий с глубиной опробования резко возрастает за счет уменьшения значений фоновых концентраций. Такие изменения необходимо учитывать при проведении работ, а особенно при выборе горизонта опробования.

Проблема резкого изменения размеров ореолов в разрезе аллохтонных отложений большой мощности, в частности на Рубцовском месторождении, отмечалась Ю. Е. Саетом [26] и заслуживает обсуждения в отдельной работе.

Зона наложенного ореола в физических полях характеризуется пониженным электрическим сопротивлением и повышенной температурой. Повышение температуры, вероятно, связано с протеканием на глубине экзотермических реакций преобразования (в частности окисления) сульфидных руд [28]. Использование этих характеристик для поисковых работ впервые было описано в прекрасной работе Н. И. Сафронова [25]. Одновременно наблюдается и уменьшение значений рН почв, отмечаемое G. J. S. Govett в качестве одного из поисковых критериев рудных месторождений [37]. Наряду с изменением рН могут меняться и потенциалы, измеряемые с помощью ионоселективных электродов [31]. К сожалению, эти характеристики почв в настоящее время практически не используются при проведении геохимических наблюдений. Можно предположить, что в пределах выявляемых струй могут изменяться и другие физические и физико-химические характеристики горных пород, в частности скорости распространения упругих волн, пористость, плотность, коэффициенты фильтрации [18] и пр.

Выводы. Подтверждена эффективность применения методов, основанных на селективном анализе форм нахождения химических элементов в почвах для выявления наложенных ореолов рассеяния глубокозалегающих колчеданно-полиметаллических рудных месторождений.

При детальном изучении ореолов выявлено их мозаичное строение, при котором ореол распадается на аномальные зоны площадью

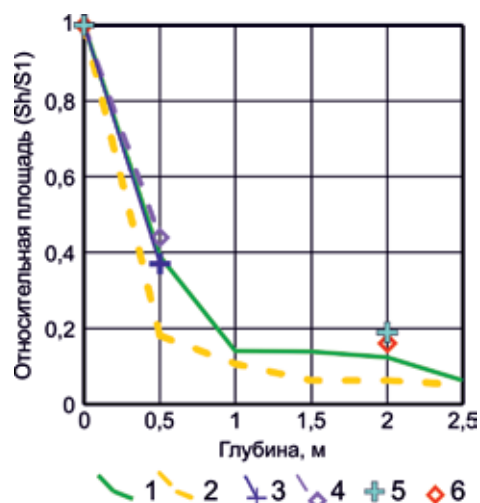


Рис. 14. Зависимость относительной площади аномальных зон свинца и меди МДИ от глубины отбора проб для участков

1, 2 – Захаровский (1 – Pb, 2 – Cu); 3, 4 – Рубцовский (3 – Pb, 4 – Cu); 5, 6 – Корбалихинский (5 – Pb, 6 – Cu)

в первые сотни квадратных метров. Их площади зависят от анализируемых форм нахождения химических элементов. Формирование ореола подвижных форм нахождения химических элементов сопряжено с вторичным закреплением и накоплением элементов вплоть до формирования аномалий валовых концентраций в виде оторванных ореолов. Однако последние аномалии менее контрастны и меньше по площади, чем аномалии в подвижных и слабозакрепленных формах нахождения, что приводит к низкой эффективности применения литохимической съемки на закрытых территориях. Наглядным примером служит тот факт, что полученная в 1960-е годы аномалия над Захаровским месторождением была признана неперспективной.

В аномальных зонах наблюдается крайне неравномерное распределение содержаний химических элементов и выделяются отдельные эпицентры аномалий с крайне высокими значениями (струи миграции). В пределах струй отмечается связь содержаний металлов и газов, в частности меди и свинца с углекислым газом. Указанный факт свидетельствует в пользу гипотезы газопузырчатого конвективного механизма формирования струйного ореола.

С увеличением глубины отбора проб струя локализуется, ее площадь на глубине 2–2,5 м уменьшается на порядок по отношению к дневной поверхности. По этой причине для надежного выявления таких ореолов при более редкой сети отбора проб не следует опробовать горизонты разреза ниже почвенных.

Контрастность выделяемых аномалий зависит не только от вещественного состава руд и содержаний рудных элементов в них, но и степени их окисления. С возрастанием степени окисления интенсивность и контрастность выделяемых аномалий увеличивается. Небольшие зоны

минерализации вблизи дневной поверхности могут создавать аномалии, сравнимые по интенсивности с массивными глубокозалегающими рудными объектами. При анализе получаемых аномалий важно это учитывать для исключения ошибок в интерпретации результатов.

При шаге опробования 50 м и более следует принимать во внимание даже отдельные точки с аномальными содержаниями химических элементов. Для более надежного опробования территорий можно рекомендовать применение комплекса геохимических (в том числе геоэлектрохимических) методов, показавших свою эффективность в данном регионе, в частности ТМГМ и МДИ. При этом использование лабораторного варианта МДИ снижает затраты на отбор проб, так как экстракция металлов проводится в лабораторных условиях из разных навесок одной и той же пробы.

В пределах выявленных ореолов наблюдается изменение физических свойств: уменьшение удельного электрического сопротивления почв и значений показателя рН (рост кислотности), увеличение температуры почв. Эти факты могут служить признаками наличия процессов формирования ореола. Поэтому параллельно с геохимическими методами следует анализировать и физико-химические параметры верхнего горизонта разреза.

Авторы благодарны своим учителям и создателям геоэлектрохимических методов поисков Н. И. Сафронову, Ю. С. Рыску и И. С. Гольдбергу. В выполнении полевых работ неоценимую помощь оказал Е. В. Холмогоров, а при проведении работ и обсуждении результатов — геологи и геофизики ПГО «Запсибгеология» В. М. Чекалин, А. К. Сухарев, В. Н. Паршин и сотрудник ПГО «Центргеология» В. М. Вильдяев.

1. Алексеев С. Г., Гольдберг И. С., Духанин А. С. Закономерности электрохимического извлечения элементов в простейших физико-химических системах // Исследование и применение электрохимических процессов при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. — Л.: ВИРГ-Рудгеофизика, 1981. — С. 38–48.

2. Алексеев С. Г., Гольдберг И. С., Духанин А. С. Влияние диффузионных потенциалов на перенос ионов в земле // Геохимия. — 1989. — № 5. — С. 758–761.

3. Алексеев С. Г. Структура наложенных ореолов рассеяния глубокозалегающих полиметаллических месторождений (на примере Алтайского Края) / С. Г. Алексеев, С. А. Вешев, Н. А. Ворошилов и др. // Записки горного института. — 2011. — Т. 194. — С. 124–127.

4. Антропова Л. В. Опыт изучения вторичных ореолов рассеяния в условиях большой мощности рыхлых отложений на Рудном Алтае // Методика и техника разведки. — Л.: ОНТИ ВИТР, 1961. — № 24. — С. 42–50.

5. Антропова Л. В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. — Л.: Недра, 1975. — 145 с.

6. Вейхер А. А., Василькова Г. Ф. Полярографический метод анализа на вращающемся твердом электроде. — Л.: ОНТИ ВИТР, 1978. — С. 19–24.

7. Ворошилов Н. А. Новый способ поисков месторождений полезных ископаемых на закрытых

территориях / Н. А. Ворошилов, Л. Н. Ворошилова, С. А. Вешев, С. Г. Алексеев // Российский геофизический журнал. — 2002. — № 29–30. — С. 25–33.

8. Ворошилов Н. А., Алексеев С. Г., Штокаленко М. Б. Поиски рудных месторождений по наложенным ореолам рассеяния // Российский геофизический журнал. — 2016. — № 55–56. — С. 10–38.

9. Гаськов И. В., Дистанов Э. Г., Миронова Н. Ю., Чекалин В. М. Колчеданно-полиметаллические месторождения верхнего девона северо-западной части Рудного Алтая. — Новосибирск: Наука, 1991. — 121 с.

10. Гольдберг И. С., Иванова А. В., Рысс Ю. С. Поиски и разведка рудных месторождений методом ЧИМ. — Л.: ОНТИ ВИТР, 1978. — 75 с.

11. Горный В. И., Шилин Б. Н. Развитие идей Н. И. Сафронова применительно к задачам тепловой аэрокосмической съемки // Сафроновские чтения: сб. докл. — СПб.: ВИРГ-Рудгеофизика, 1993. — Т. 1. — С. 48–57.

12. Духанин А. С., Снигерев Ю. А., Федорова Г. П. Применение индуктивно-связанной плазмы для спектрального анализа геохимических проб // Высокочастотный индуктивно-связанный разряд в эмиссионном спектральном анализе. — Л.: Наука, 1987. — С. 216–221.

13. Духанин А. С. Физико-химическая сущность и возможности геохимических методов поисков по наложенным ореолам рассеяния / А. С. Духанин, Ю. С. Рысс, И. С. Гольдберг, Н. А. Ворошилов, Е. М. Квятковский // Известия вузов. Геология и разведка. — 1989. — № 3. — С. 53–61.

14. Духанин А. С. Опыт использования метода диффузионного извлечения металлов для поисков глубокозалегающих месторождений // Методы разведочной геофизики. Использование геоэлектрохимических методов при поисках и разведки рудных месторождений: Сб. науч. тр. — Л.: НПО «Рудгеофизика», 1989. — С. 99–109.

15. Зырянова Л. А. Перит $PbVtO_2Cl$ из Захаровского месторождения (Северо-Западный Алтай) — Первая находка в России / Л. А. Зырянова, И. В. Пеков, В. Щ. Япоскурт, С. Н. Бритвин // Вестник Томского государственного университета. — 2015. — № 395. — С. 241–243.

16. Зырянова Л. А. Состав и строение зоны окисления Рубцовского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) / Л. А. Зырянова, И. В. Пеков, К. В. Толочко, Н. Д. Литвинов, И. А. Ерзаков // Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Азии. — Томск, 2013. — Вып. 2. — С. 90–103.

17. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. — М.: Недра, 1983. — 191 с.

18. Лаломов Д. А., Глазунов В. В. Оценка коэффициента фильтрации песчано-глинистых грунтов на основе совместной интерпретации данных метода сопротивления и георадиолокации // Записки горного института. — 2018. — Т. 229. — С. 3–12.

19. Путиков О. Ф. Основы теории нелинейных геоэлектрохимических методов поисков и разведки. — СПб.: СПбГУ, 2009. — 534 с.

20. Путиков О. Ф., Духанин А. С., Машьянов Н. Р. К обоснованию физико-математической модели «струйных» ореолов рассеяния // Российский геофизический журнал. — 1994. — № 2. — С. 5–10.

21. Путиков О. Ф., Духанин А. С. О возможном механизме формирования «струйных» ореолов рассеяния // Докл. РАН СССР. — 1994. — Т. 338, № 2. — С. 219–221.

22. Рысс Ю. С. Геоэлектрохимические методы разведки. — Л.: Недра, 1983. — 255 с.

23. Рысс Ю. С. Струйная миграция вещества в образовании вторичных ореолов рассеяния / Ю. С. Рысс, И. С. Гольдберг, С. Г. Алексеев, А. С. Духанин // ДАН СССР. — 1987. — Т. 297, № 4. — С. 956–958.

24. Рысс Ю. С. Возможности применения геоэлектрохимических методов для поисков нефтегазовых месторождений / Ю. С. Рысс, И. С. Гольдберг, В. И. Васильева, Н. А. Ворошилов // Советская геология. — 1990. — № 6. — С. 28–33.

25. Сафронов Н. И. К вопросу об «ореолах рассеяния» месторождений полезных ископаемых и их использовании при поисках и разведке // Проблемы советской геологии. — 1936. — Т. VI, № 4. — С. 302–323.
26. Саэт Ю. Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. — М.: Наука, 1982. — 168 с.
27. Соколов С. В., Приходько Е. Ф., Марченко А. Г. Создание современных концептуальных физико-химических основ формирования на закрытых территориях наложенных сорбционно-солевых ореолов в верхней части чехла рыхлых отложений // Региональная геология и металлогения. — 2015. — № 61. — С. 111–114.
28. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. — М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1951. — 334 с.
29. Чекалин В. М. Геолого-генетические особенности Рубцовского месторождения полиметаллических руд на Рудном Алтае // Стрoение рудных месторождений. — 2002. — № 1. — С. 23–31.
30. Чекалин В. М. Вклад Томской школы геологов в создание и освоение минерально-сырьевой базы северо-западного Алтая // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В. А., Усова М. А., Урванцева Н. Н. до наших дней: материалы Всерос. форума с междунар. участием. — Томск, 2013. — С. 94–101.
31. Холмянский М. А., Павлов С. П., Путиков О. Ф. Использование геоэлектрoхимического метода при поисках нефтегазовых залежей в Баренцевом и Карском морях // Записки горного института. — 2015. — Т. 215. — С. 25–29.
32. Alekseev S. G. Some aspects of use geoelectrochemical methods of exploration deep-seated mineralization / S. G. Alekseev, A. C. Dukhanin, S. A. Veshev, N. A. Voroshilov // Journal of Geochemical Exploration. — 1996. — Vol. 56, N 1. — Pp. 79–86.
33. Antropova L. V. New methods of regional exploration for blind mineralization: application in the USSR / L. V. Antropova, I. S. Goldberg, N. A. Voroshilov, Yu. S. Ryss // Journal of Geochemical exploration. — 1992. — Vol. 43, N 2. — Pp. 157–166.
34. Barringer A. R. Method and apparatus for sensing substances by analyses of adsorbed matter associated with atmospheric particles. US Patent N 3768302. — 1973.
35. Cameron E. M. Finding deeply buried deposits using geochemistry / E. M. Cameron, S. M. Hamilton, M. I. Leybourne, G. E. M. Hall, M. B. McClenaghan // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. — 2004. — Vol. 4. — Pp. 7–32.
36. Cameron E. M. Geochemical anomalies in northern Chile as a surface expression of the extended supergene metallogenesis of buried copper deposits / E. M. Cameron, M. I. Leybourne, M. Rich, C. Palacios // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. — 2010. — Vol. 10. — Pp. 157–169.
37. Govett G. J. S. Detection of deeply buried and blind sulphide deposits by measurement of H^+ and conductivity of closely spaced surface soil samples // Journal of Geochemical Exploration. — 1976. — Vol. 6. — Pp. 359–382.
38. Hale M. Gas geochemistry and deeply buried mineral deposits: the contribution of the Applied Geochemistry Research Group, Imperial College of Science and Technology, London // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. — 2010. — Vol. 10. — Pp. 261–267.
39. Hall G. E. M., Hamilton S. M., McClenaghan M. B., Cameron E. M. Secondary geochemical signatures in glaciated terrain // Predictive discovery under cover. SEG Symposium Papers, 2004.
40. Krčmár B. New atmogeochemical methods in ore and fluorite exploration // Sbor. geol. ved. Uzita geofyz. — 1983. — N 18. — Pp. 191–204.
41. Putikov O. F., Wen B. Geoelectrochemistry and stream dispersion. Chapter 2 // Geochemical Remote Sensing of the Subsurface: Handbook of Exploration Geochemistry / M. Hale. — Amsterdam: Elsevier, 2000. — Vol. 7. — Pp. 17–79.
1. Alekseev S. G., Gol'dberg I. S., Dukhanin A. S. Patterns of electrochemical extraction of elements in the simplest physical and chemical systems. *Research and application of electrochemical processes in the search and exploration of mineral deposits*. Leningrad: VIRG-Rudgeofizika. 1981. Pp. 38–48. (In Russian).
2. Alekseev S. G., Gol'dberg I. S., Dukhanin A. S. Influence of diffusion potentials on ion transport in the earth. *Geohimija*. 1989. No. 5, pp. 758–761. (In Russian).
3. Alekseev S. G., Veshev S. A., Voroshilov N. A. The structure of superimposed dispersion halos of deep-lying polymetallic deposits (on the example of the Altai Territory. *Zapiski gornogo instituta*. 2011. Vol. 194, pp. 124–127. (In Russian).
4. Antropova L. V. Experience in the study of secondary dispersion halos under conditions of high power of loose deposits in the Rudny Altai. *Metodika i tehnika razvedki*. Leningrad: ONTI VITR. 1961. No. 24, pp. 42–50. (In Russian).
5. Antropova L. V. Formy nahozhdenija jelementov v oreolah rassejanija rudnyh mestorozhdenij [Forms of finding elements in aureoles of dispersion of ore deposits]. Leningrad: Nedra. 1975. 145 p.
6. Vejher A. A., Vasil'kova G. F. Poljarograficheskij metod analiza na vrashhajushhemsja tverdom jelektrode [Polarographic method of analysis on a rotating solid electrode]. Leningrad: ONTI VITR. 1978. Pp. 19–24.
7. Voroshilov N. A., Voroshilova L. N., Veshev S. A., Alekseev S. G. A new way to search for mineral deposits in closed territories. *Rossijskij geofizicheskij zhurnal*. 2002. No. 29–30, pp. 25–33. (In Russian).
8. Voroshilov N. A., Alekseev S. G., Shtokalenko M. B. Searches for ore deposits by superimposed dispersion halos. *Rossijskij geofizicheskij zhurnal*. 2016. No. 55–56, pp. 10–38. (In Russian).
9. Gas'kov I. V., Distanov Je. G., Mironova N. Ju., Chekalin V. M. Kolchedanno-polimetallicheskie mestorozhdenija verhnego devona Severo-Zapadnoj chasti Rudnogo Altaja [Pyrite-polymetallic deposits of the Upper Devonian of the North-Western part of the Rudny Altai]. Novosibirsk: Nauka. 1991. 121 p.
10. Gol'dberg I. S., Ivanova A. V., Ryss Yu. S. Poiski i razvedka rudnyh mestorozhdenij metodom ChIM [Searches and exploration of ore deposits by the ChIM method]. Leningrad: ONTI VITR. 1978. 75 p.
11. Gornyj V. I., Shilin B. N. The development of N. I. Safronov's ideas as applied to the tasks of thermal aerospace photography. *Safronov readings: collection of docs*. St. Petersburg: VIRG-Rudgeofizika. 1993. Vol. 1, pp. 48–57. (In Russian).
12. Dukhanin A. S., Snigerev Ju. A., Fedorova G. P. Use of inductively coupled plasma for spectral analysis of geochemical samples. *High-frequency inductively coupled discharge in emission spectral analysis*. Leningrad: Nauka. 1987, pp. 216–221. (In Russian).
13. Dukhanin A. S., Ryss Ju. S., Gol'dberg I. S., Voroshilov N. A., Kyjatkovskij E. M. Physico-chemical nature and possibilities of geochemical methods of searches for superimposed scattering halos. *Izvestija vuzov. Geologija i razvedka*. 1989. No. 3, pp. 53–61. (In Russian).
14. Dukhanin A. S. Experience in using the method of diffusion extraction of metals to search for deep deposits. *Methods of exploration geophysics. The use of geoelectrochemical methods in the search and exploration of ore deposits: Collection of scientific papers*. Leningrad: NPO «Rudgeofizika». 1989. Pp. 99–109. (In Russian).
15. Zyrjanova L. A., Pekov I. V., Japokurt V. Shch., Britvin S. N. Perit $PbBiO_2Cl$ from the Zakharovskoye field (North-West Altai) — The first find in Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 395, pp. 241–243. (In Russian).
16. Zyrjanova L. A., Pekov I. V., Tolochko K. V., Litvinov N. D., Erzakov I. A. Composition and structure of the oxidation zone of the Rubtsovsky pyrite-polymetallic deposit

- (The Rudny Altai). *Mineralogy, geochemistry and minerals of Asia*. Tomsk. 2013. Iss. 2, pp. 90–103. (In Russian).
17. Instrukcija po geohimicheskim metodam poiskov rudnykh mestorozhdeniy [Instructions on geochemical methods of prospecting ore deposits]. Moscow: Nedra. 1983. 191 p.
18. Lalomov D. A., Glazunov V. V. Estimation of the filtration coefficient of sandy clay soils based on a joint interpretation of the data of the resistance method and GPR. *Zapiski gornogo instituta*. 2018. Vol. 229, pp. 3–12. (In Russian).
19. Putikov O. F. Osnovy teorii nelinejnykh geoelektrohimicheskikh metodov poiskov i razvedki [Fundamentals of the theory of nonlinear geoelectrochemical methods of prospecting and exploration]. St. Petersburg: SPbGU. 2009. 534 p.
20. Putikov O. F., Dukhanin A. S., Mash'janov N. R. On the justification of the physical and mathematical model of “jet” scattering halos. *Rossijskij geofizicheskij zhurnal*. 1994. No. 2, pp. 5–10. (In Russian).
21. Putikov O. F., Dukhanin A. S. On a possible mechanism for the formation of “jet” scattering halos. *Dokl. RAN*. 1994. Vol. 338. No. 2, pp. 219–221. (In Russian).
22. Ryss Ju. S. Geoelektrohimicheskie metody razvedki [Geoelectrochemical methods of intelligence]. Leningrad: Nedra. 1983. 255 p.
23. Ryss Yu. S., Goldberg I. S., Alekseev S. G., Dukhanin A. S. Goldberg Inkjet migration of matter in the formation of secondary dispersion halos. *DAN SSSR*. 1987. Vol. 297. No. 4, pp. 956–958. (In Russian).
24. Ryss Ju. S., Gol'dberg I. S., Vasil'eva V. I., Voroshilov N. A. Possibilities of applying geoelectrochemical methods for the search for oil and gas fields. *Sovetskaja geologija*. 1990. No. 6, pp. 28–33. (In Russian).
25. Safronov N. I. On the issue of “halos of dispersal” of mineral deposits and their use in prospecting and exploration. *Problemy sovetskoy geologii*. 1936. Vol. VI. No. 4, pp. 302–323. (In Russian).
26. Saet Yu. E. Vtorichnye geokhimicheskie oreoly pri poiskakh rudnykh mestorozhdeniy [Secondary geochemical halos in the search for ore deposits]. Moscow: Nauka. 1982. 168 p.
27. Sokolov S. V., Prikhod'ko E. F., Marchenko A. G. Creation of modern conceptual physicochemical foundations for the formation of closed sorption-salt halos in the upper part of the cover of loose deposits in closed areas. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 2015. No. 61, pp. 111–114. (In Russian).
28. Smirnov S. S. Zona okisleniya sul'fidnykh mestorozhdeniy [Oxidation zone of sulfide deposits]. Moscow: Izd-vo Akad. nauk SSSR. 1951. 33 p.
29. Chekalin V. M. Geological and genetic features of the Rubtsovsky deposit of polymetallic ores in the Rudny Altai. *Stroenie rudnykh mestorozhdeniy*. 2002. No. 1, pp. 23–31. (In Russian).
30. Chekalin V. M. The contribution of the Tomsk school of geologists in the creation and development of the mineral resource base of the northwestern Altai. *Development of the mineral resource base of Siberia: from Obruchev V. A., Usova M. A., Urvantseva N. N. to the present day: materials of the All-Russian Forum with international participation*. Tomsk. 2013. Pp. 94–101. (In Russian).
31. Kholmjanskiy M. A., Pavlov S. P., Putikov O. F. Use of the geoelectrochemical method in the search for oil and gas deposits in the Barents and Kara Seas. *Zapiski gornogo instituta*. 2015. Vol. 215. Pp. 25–29. (In Russian).
32. Alekseev, S. G. 1996: Some aspects of use geoelectrochemical methods of exploration deep-seated mineralization. In Alekseev, S. G., Dukhanin, A. C., Veshev S. A., Voroshilov, N. A. (eds.): *Journal of Geochemical Exploration*. 56. 1. 79–86.
33. Antropova, L. V. 1992: New methods of regional exploration for blind mineralization: application in the USSR. In Antropova, L. V., Goldberg, I. S., Voroshilov, N. A., Ryss, Yu. S. (eds.): *Journal of Geochemical exploration*. 43. 2. 157–166.
34. Barringer, A. R. 1973: Method and apparatus for sensing substances by analyses of adsorbed matter associated with atmospheric particles. US Patent N 3768302.
35. Cameron, E. M. 2004: Finding deeply buried deposits using geochemistry. In Cameron, E. M., Hamilton, S. M., Leybourne, M. I., Hall, G. E. M., McClenaghan, M. B. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 4. 7–32.
36. Cameron, E. M. 2010: Geochemical anomalies in northern Chile as a surface expression of the extended supergene metallogenesis of buried copper deposits. In Cameron, E. M., Leybourne, M. I., Rich, M., Palacios, C. (eds.): *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 10. 157–169.
37. Govett, G. J. S. 1976: Detection of deeply buried and blind sulphide deposits by measurement of H⁺ and conductivity of closely spaced surface soil samples. *Journal of Geochemical Exploration*. 6. 359–382.
38. Hale, M. 2010: Gas geochemistry and deeply buried mineral deposits: the contribution of the Applied Geochemistry Research Group, Imperial College of Science and Technology, London. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 10. 261–267.
39. Hall, G. E. M., Hamilton, S. M., McClenaghan, M. B., Cameron, E. M. 2004: Secondary geochemical signatures in glaciated terrain. *Predictive discovery under cover*. SEG Symposium Papers.
40. Krčmár, B. 1983: New atmogeochemical methods in ore and fluorite exploration. *Sbor. geol. ved. Uzita geofyz*. 18. 191–204.
41. Putikov, O. F., Wen, B. 2000: Geoelectrochemistry and stream dispersion. Chapter 2. In Hale, M. (ed.): *Geochemical Remote Sensing of the Subsurface: Handbook of Exploration Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier. 7. 17–79.

Духанин Андрей Станиславович – ген. директор, ООО «КАД-КОПИ Сервис». Петроградская наб., 18, корп. 3, литер В, пом. 10Н, оф. 9, Санкт-Петербург, 197046, Россия. <asd@cadgeo.ru>

Алексеев Сергей Георгиевич – канд. геол.-минерал. наук, геофизик, ЗАО КЦ «РОСГЕОФИЗИКА». Ул. Ольминского, 10А, пом. 5Н, Санкт-Петербург, 192029, Россия. <sga49@mail.ru>

Сенчина Наталия Петровна – канд. геол.-минерал. наук, ст. преподаватель, Санкт-Петербургский горный университет (СПГУ). 21-я линия, Васильевский остров, д. 2, Санкт-Петербург, 199106, Россия. <senchina_np@pers.spmi.ru>

Dukhanin Andrey Stanislavovich – Director General, ООО «CAD-COPY Servis», Petrogradskaya nab., 18, korp. 3, liter B, pom. 10H, of. 9, St. Petersburg, 197046, Russia. <asd@cadgeo.ru>

Alekseev Sergey Georgievich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Geophysicist, CJSC «ROSGEOPHYZIKA». Ul. Ol'minskogo, 10A, pom. 5N, St. Petersburg, 192029, Rossiya. <sga49@mail.ru>

Senchina Nataliya Petrovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Lecturer, Saint-Petersburg Mining University (SPMU). 2 21st Line, St. Petersburg, 199106, Russia. <senchina_np@pers.spmi.ru>