

Поиски рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния хлора и брома

Ионы Cl^- и Br^- , образующие комплексные соединения с металлами, в зоне гипергенеза формируют вторичные ореолы рассеяния на месторождениях Au, Ag, Cu, Pb, Zn, рудные тела которых контролируются трещинными и разрывными структурами. Появление аномалий высокоподвижных водорастворимых ионов, проявленных на дневной поверхности и в околорудных породах, объясняется их переносом из глубинных источников к поверхности потоком газов. На миграцию ионов к земной поверхности и далее в атмосферу влияет множество факторов (атмосферное давление, температура, влажность, пористость пород и др.), осложняющих результаты наблюдений.

Ключевые слова: рудные месторождения, вторичные ореолы рассеяния, ионы Cl^- и Br^- .

МИЛЯЕВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, milyaev@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Ore deposit prospecting using the chlorine and bromine secondary dispersion halos

S. A. MILYAEV

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The Cl^- and Br^- ions, that form complex compounds with metals, produce secondary dispersion halos in the hypergenesis zone at Au, Ag, Cu, Pb, and Zn ore deposits which ore bodies are controlled by fracturing and fault structures. The appearance of anomalies of the highly mobile water-soluble ions, manifested on the surface and in the wall rocks, is explained by their transfer from the deep sources to the surface by a gas flow. The migration of the ions to the earth's surface and further into the atmosphere is influenced by many factors (atmospheric pressure, temperature, humidity, rock porosity, etc.) that complicate the observation results.

Key words: ore deposits, secondary dispersion halos, Cl^- and Br^- ions

Поиски скрытых рудных месторождений представляют значительные трудности, которые постоянно возрастают с увеличением глубины поисковых работ. Привлечение в качестве индикаторов оруденения высокоподвижных химических элементов значительно расширяет возможности геохимических методов поисков. Как было показано в работах Н. И. Сафронова [5], Б. А. Судова [8], А. Д. Миллера, О. Б. Побокковой, Н. Н. Трофимова и А. И. Рычкова [9, 10], Л. Я. Крыловой, В. П. Иванчикова [2, 3], А. А. Саукова, В. З. Фурсова, Н. А. Озеровой, при поисках глубокозалегающих рудных месторождений наиболее перспективными элементами-индикаторами являются галогены (в первую очередь йод), ртуть, щелочные элементы, бор. Все они входят в низкотемпературную ассоциацию

химических элементов, характерную для фронтальных зон эндогенных ореолов рудных месторождений [10].

Галогены характеризуются очень высокой подвижностью в геологических процессах. Йод, бром и хлор кристаллохимически сходны между собой. В результате в твёрдом веществе земной коры создаётся геохимическая ассоциация Cl-Br-I. Галогены, обладая самой высокой электроотрицательностью, в своих периодах существуют в природе только в виде ионов с зарядом -1, образуя с металлами соединения с устойчивыми ионными связями.

В гипергенных условиях эти элементы ведут себя как очень хорошие мигранты в водной и воздушной среде. Йод и бром – рассеянные микроэлементы. Следствием этого является практическое

отсутствие собственных минералов йода и брома. Средняя концентрация йода в реках составляет 0,02 и брома – 0,2 мг/л [7]. Хлор относится к числу макроэлементов. Кларк хлора в речной воде – 55 мг/л [7]. Он имеет 342 собственных минерала (Д. В. Гричук, 2021). Ограничением числа минералов является высокая растворимость хлоридов. Для образования многих минералов требуются специфические условия, в первую очередь сильное испарение.

В гидротермальном процессе хлор обычно является главным анионом. Он играет важнейшую роль в качестве одного из главных комплексобразователей-переносчиков рудных элементов. Комплексы с хлоридным ионом установлены для Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Ni, Co, Hg, Fe, Mn (Д. В. Гричук, 2021). Хлор способен концентрироваться в рудах и метасоматитах [2]. В магматическом процессе он практически не входит в состав кристаллизующихся минералов и накапливается в остаточных растворах-расплавах, отделяясь затем от магматических очагов. Хлор активно участвует в постмагматических процессах, являясь там одним из основных анионов в водной среде.

Главная геохимическая черта брома – это совершенный изоморфизм с хлором. Весь бром изоморфно распределён в хлоридных минералах. Поскольку хлора в природе существенно больше, он выступает как элемент-«хозяин», а бром – как элемент-спутник. В магматических и гидротермальных процессах бром повторяет геохимию хлора. Обнаружены бромидные комплексы рудных металлов, но их вклад в рудообразование мал из-за низкой концентрации лиганда.

Йод, бром и хлор преимущественно и широко развиты в надрудных горизонтах эндогенных месторождений, где они образуют первичные ореолы с максимальными размерами и содержаниями, значительно превышающими фоновые значения [8, 9]. Протяжённость ореолов этих компонентов намного больше вертикальной протяжённости ореолов рудных элементов и их спутников. Для месторождений, выведенных своими рудными интервалами на современную эрозионную поверхность, ореолы галогенов обычно обрамляют месторождения по их флангам [3].

Наибольший поисковый интерес представляют ореолы йода, отслеженные на расстояние более 500 м от верхней кромки рудных залежей [10]. В настоящее время практически доказана первичная природа йода в ореолах эндогенных месторожде-

ний. Этот элемент является индикатором проявления рудного процесса, а не какого-либо металла, поэтому его ореолы отмечены на эндогенных месторождениях различных рудных формаций. Ореолы йода изучены на жильных свинцово-цинковых, барит-полиметаллических, медно-колчеданных, медно-порфировых, медно-скарновых, оловорудных, молибден-вольфрамовых, золоторудных месторождениях [3, 10]. В Северной Осетии по первичным ореолам йода на глубинах 350–550 м выявлено полиметаллическое месторождение Бозанг [10]. Рассеянное, несвязанное нахождение йода в породах и рудах обуславливает его миграцию после формирования месторождения и образование наложенного ореола в вышележащих породах.

Отсутствие экспрессного высокочувствительного физического аналитического метода определения йода в геохимических пробах является главным фактором, сдерживающим широкое внедрение поисковой методики по ореолам йода в практику геологоразведочных работ. Определение содержания йода выполнялось химическими методами в растворах водно-солевых вытяжек из горных пород и почвенных проб [9].

Определение водорастворимых компонентов во вторичных ореолах рассеяния можно проводить с помощью ионоселективных электродов [7]. Первый опыт применения ионоселективных электродов относится к началу 1930-х гг., когда А. П. Солововым была доказана принципиальная возможность их использования при геохимических поисках сульфидных месторождений [6]. Неоспоримые преимущества спектрального анализа в те годы привели к прекращению работ с применением ионоселективных электродов. Современные достижения в технике проведения анализов и интерпретации результатов обусловили целесообразность возвращения к указанному методу.

Анализ водорастворимых компонентов почв проводился на отечественном потенциометре с помощью серийных электродов на Cl^- , Br^- , I^- , NH_4^+ , K^+ , Na^+ и др. Для анализа готовилась суспензия путём смачивания пробы (фракция менее 0,25 мм) дистиллированной водой в соотношении 1:1. Исследование состава водных суспензий осуществлялось в полевых условиях на базе отряда. За рабочую смену бригада из двух человек проводила анализ 80–100 проб на 9 компонентов. Нижний предел обнаружения для макрокомпонентов (Cl^- , NH_4^+ , K^+ , Na^+) вполне достаточен для определения их концентраций ниже фоновых значений; для

микроэлементов (Br^- , I^-) чувствительность электродов, в первую очередь для йода, недостаточна. Нижний предел определения брома – 0,4 мг/л. За фоновые значения иона брома принята 1/2 величины его нижнего предела обнаружения, соответствующая средней концентрации в речной воде (0,2 мг/л). Для удобства сопоставления полученных результатов между собой определимые концентрации брома нормированы на величину принятого фона. Нормирование на фон проведено также для концентраций хлор-иона. Обратимся к рассмотрению результатов исследований.

Месторождение Карамкен расположено на Северо-Востоке России в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Рудовмещающие толщи сложены вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами кислого и среднего состава

верхнемелового возраста. Околорудные метасоматиты месторождения принадлежат формации гидротермальных аргиллизитов. Породы претерпели площадную пропилизацию и более локально проявленные вблизи рудных тел процессы аргиллизации, гидрослюдизации и адуляризации. Золотоносные кварцевые жилы Восточного участка, где сосредоточены основные запасы месторождения, характеризуются весьма слабой эрозией. Золотоносные жилы Центрального участка значительно эродированы.

Как показали наши исследования, рудные жилы Восточного участка, расположенные в слепом залегании, отчётливо фиксируются с поверхности протяжёнными (0,8–1,5 км) и контрастными вторичными ореолами рассеяния хлора и брома. Ширина ореолов 300–350 м (рис. 1). Нередко наблюдается

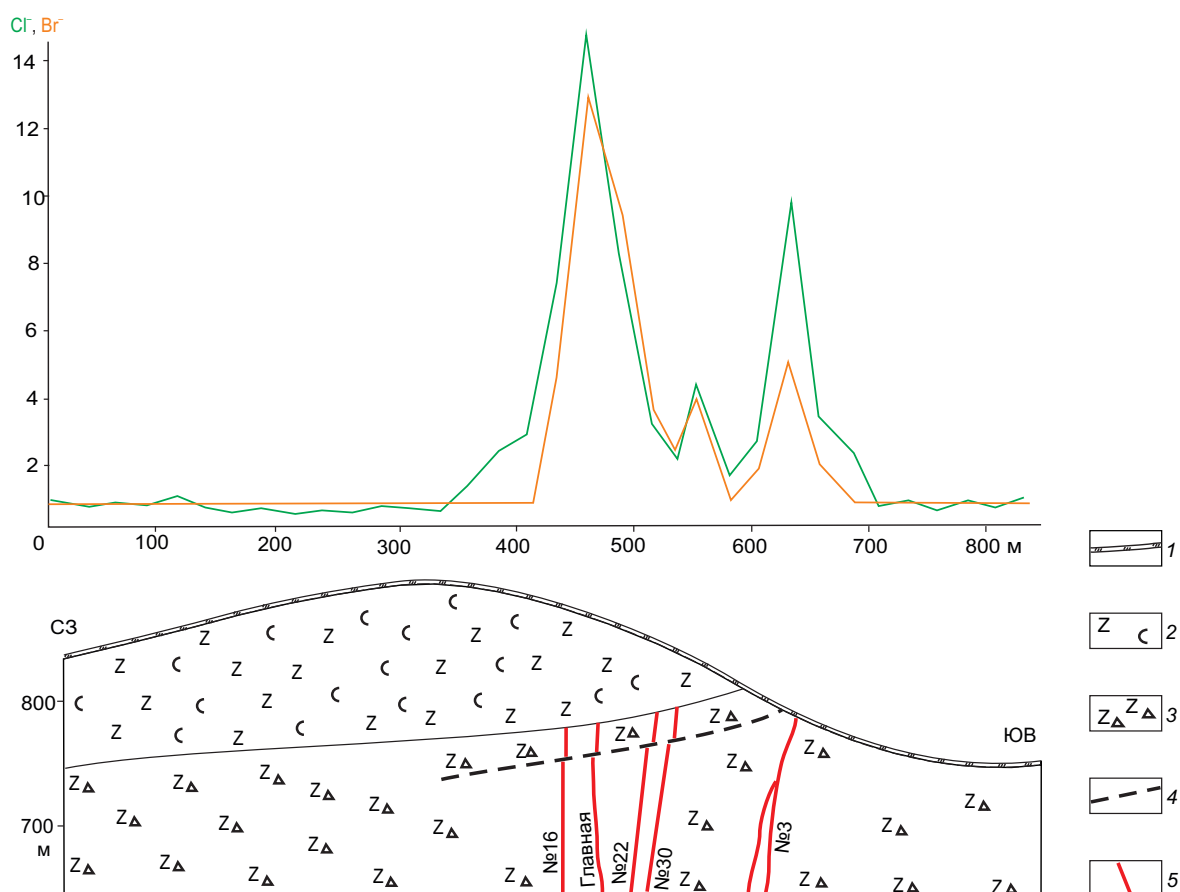


Рис. 1. Графики распределения хлора и брома на Восточном участке месторождения Карамкен:

1 – элювио-делювий; 2 – туфы андезидацитов; 3 – автомагматические брекчии андезидацитов; 4 – тектонические нарушения; 5 – золоторудные тела

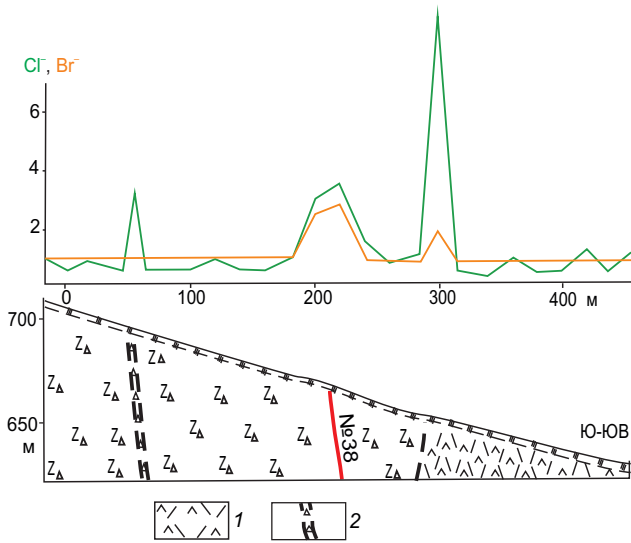


Рис. 2. Графики распределения хлора и брома на Центральном участке месторождения Карамкен:

1 – риодациты; 2 – зоны дробления; см. услов. обозн. к рис. 1

асимметрия вторичных ореолов, обусловленная избирательным накоплением хлора и брома в ви-сячем боку рудных тел. По своим размерам и мак-симальным концентрациям вторичные ореолы хлора и брома Центрального участка значительно уступают ореолам рассеяния Восточного участка. Протяжённость ореолов здесь составляет первые сотни метров; в поперечнике их размеры не пре-вышают 40 м (рис. 2).

Различия в продуктивности ореолов рассеяния хлора и брома на участках, различающихся уров-нями эрозионного среза и запасами золота, могут иметь два объяснения. С одной стороны, над сле-пыми и слабоэродированными рудными телами формируются ореолы с наибольшими размерами и концентрациями водорастворимых компонентов. С другой, хлор и бром выступают в качестве ком-плексообразователей рудных элементов, и оче-видно, что между концентрациями хлора и брома в изменённых околорудных породах и количе-ством отложившегося на глубине золота должна существовать прямая зависимость.

Определение ионов, при которых они извлека-ются из пробы дистиллированной водой, указы-вает на слабосвязанные формы их нахождения в зоне гипергенеза. В околорудных породах и рудах эндогенной зоны, не претерпевших гипергенных

изменений, также присутствуют слабосвязанные водорастворимые формы. Концентрации их до-статочно высоки и вполне могут обеспечить об-разование вторичных ореолов в почвах. О суще-ствовании подобных форм свидетельствуют ре-зультаты анализа проб из рудовмещающих пород в обрамлении рудных тел на уровнях заведомо ниже зоны гипергенеза.

Береговское месторождение расположено в пре-делах вулканического пояса Восточных Карпат. В рудовмещающем разрезе верхнеэоценовых по-род чередуются толщи кислых вулканитов и тер-ригенных осадков с примесью туфогенного мате-риала. Практически все породы претерпели гидро-термальные изменения, причём до глубины 100–150 м от поверхности господствуют минеральные ассоциации аргиллизитов (кварц, алуни-т, каолинит, ярозит, гидроксиды железа), глубже – минераль-ные ассоциации, близкие пропилитам (адуляр, аль-бит, светлая слюда, сидерит, анкерит, эпидот). Руд-ные тела представлены жилами и штокверками. По составу жильные тела золотополиметалличе-ские, а штокверковые – существенно золотые.

Анализ водных суспензий пород проводился по штольневому горизонту +130 м. Опробованию подвергались сыпучие массы аргиллизитов, раз-витые по вулканитам кислого состава. По резуль-татам анализа в обрамлении жильного тела VIII выявлены устойчивые первичные ореолы ионов Cl^- , Br^- (рис. 3), NH_4^+ , K^+ . Уровень максимальных концентраций Cl^- над фоном превышает в 125 раз, Br^- – в 100 раз, NH_4^+ – в 50 раз, K^+ – в 15 раз.

Щелочные элементы (K, Na) – геохимические индикаторы низкотемпературного (аргиллизация) и среднетемпературного (березитизация) метасо-матических процессов кислотного выщелачивания, выражающихся в выносе из околорудных пород натрия и привносе калия. Катионы этих металлов отличаются от других рудосопровождающих эле-ментов тем, что их хлориды и углекислые соли хорошо растворимы в воде. Щелочные металлы не осаждаются природными реагентами и оста-ются в растворе в несвязанном виде, продолжая активную миграцию в обводнённой среде. Этим объясняется их высокая подвижность в эндоген-ных условиях и способность образовывать далеко проникающие от рудных тел ореолы [10].

Первичные ореолы аммония (NH_4^+) – спутники золоторудных месторождений. Такого рода ореолы установлены на золоторудных объектах США, Канады, Мексики, бывшего Советского Союза.

Минеральные формы накопления аммония – калиевые минералы, в которых калий изоморфно замещён аммонием (полевые шпаты, светлые слюды, иллит, алуниит, ярозит). В зоне гипергенеза над золоторудными месторождениями различных типов формируются вторичные ореолы рассеяния аммония с концентрациями, превышающими фоновые значения в 5–50 раз [11].

С дневной поверхности жильное тело VIII фиксируется вторичными ореолами указанных компонентов. Превышение максимальных концентраций над фоном иона NH_4^+ составляет 14 раз, Cl^- , Br^- – 6 раз (рис. 4), K^+ – 2,5 раза. Количественный анализ параметров гипергенных и эндогенных ореолов Береговского месторождения позволил отметить непрерывный рост максимальных содержаний ионов с глубиной, при сохранении их эффективной ширины (70–100 м). Подобное распределение может отражать фильтрационный механизм миграции высокоподвижных компонентов по разрывным нарушениям, свойственный для эндогенных источников [7].

Увеличение содержаний хлора неоднократно отмечалось над зонами разломов [2, 9]. Аномалии хлора и брома фиксировались нами над тектоническими нарушениями месторождения Карамкен (см. рисунки 1 и 2). По своей контрастности и максимальным значениям концентраций аномалии хлора значительно выше в областях разрывных

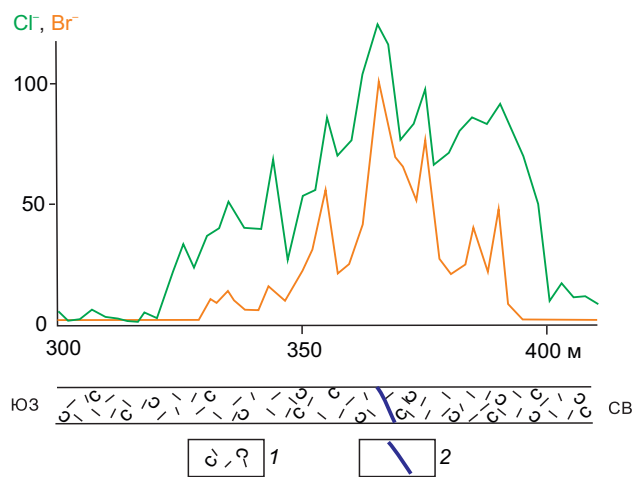


Рис. 3. Первичные ореолы хлора и брома жильного тела VIII на горизонте +130 м месторождения Береговское:

1 – риолиты и их туфы; 2 – рудная жила

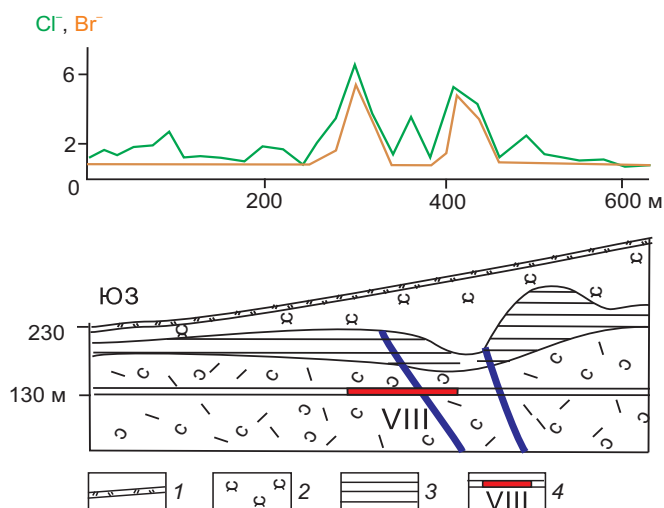


Рис. 4. Вторичные ореолы рассеяния хлора и брома Береговского месторождения:

1 – элювио-делювий; 2 – туфиты; 3 – алевролиты, аргиллиты; 4 – интервал опробования жилы VIII на штольневом горизонте +130 м; см. услов. обозн. к рис. 3

нарушений, чем в пределах рудных тел. Основное отличие аномалий над рудными телами и зонами разломов заключается в величинах отношения Br/Cl . В пределах рудных тел оно составляет 0,7–1,0, а в зонах тектонических нарушений может колебаться от 0,2 до 0,5. Близкая картина распределения хлора и брома отмечается в пределах золоторудных полей Северного Урала.

Месторождение Воронцовское расположено в пределах Краснотурьинской рудной зоны Тагило-Магнитогорского мегасинклинория. Рудное поле приурочено к контакту Ауэрбаховского массива габро-диорит-гранодиоритовой формации (D_2). В рудовмещающем разрезе выделяются две толщи пород: нижняя существенно известняковая и верхняя вулканогенно-осадочная, сложенная тонкопереслаивающимися туфопесчаниками, туфоалевролитами, туфами андезитов и андезибазальтов. Зона контакта двух указанных толщ осложнена надвигом, играющим важную рудоконтролирующую роль. К контакту карбонатных и вулканогенно-осадочных пород приурочены зоны развития кварц-серицитовых метасоматитов (березитов), которые с золотосульфидными рудами образуют мощное плитообразное тело, выходящее на эрозионный срез и подвергшееся интенсивным процессам корообразования.

Вторичные ореолы хлора и брома Воронцовского месторождения формируются над выходом золотоносных кор выветривания (рис. 5). Ширина вторичных ореолов хлора и брома сопоставима с шириной выхода окисленных руд. К зонам разрывных нарушений приурочены наиболее контрастные аномалии хлора. Важное индикационное значение имеет отношение Br/Cl , величина которого над зонами тектонических нарушений составляет 0,2–0,3, а над зоной окисленных руд – 0,9–1,0.

Площадь Половинного Увала расположена в северной части Краснотурьинской рудной зоны и характеризуется сложным геологическим строением – чередованием рудовмещающих и рудогенерирующих комплексов пород девона. Специализированные поисковые работы на золотоносные коры

выветривания и россыпи здесь не проводились. При этом площадь характеризуется широким распространением прямых и косвенных поисковых признаков как коренной, так экзогенной золотоносности (Е. А. Черемисина, Т. П. Зубова, 2018).

На части площади Половинного Увала проведена кондиционная литохимическая съёмка масштаба 1:50 000 по сети 500×50 м (рис. 6). В зоне гипергенеза по первичным рудам прогнозируется развитие коры выветривания линейно-трещинного, линейно-карстового морфогенетических типов. Анализ водных суспензий позволил установить ряд сопряжённых аномалий хлора и брома меридионального направления, протягивающихся вдоль тектонических контактов известняков и вулканогенно-осадочных пород девона. Протяжённость аномалий хлора в среднем 1,0–1,5 км. Ано-

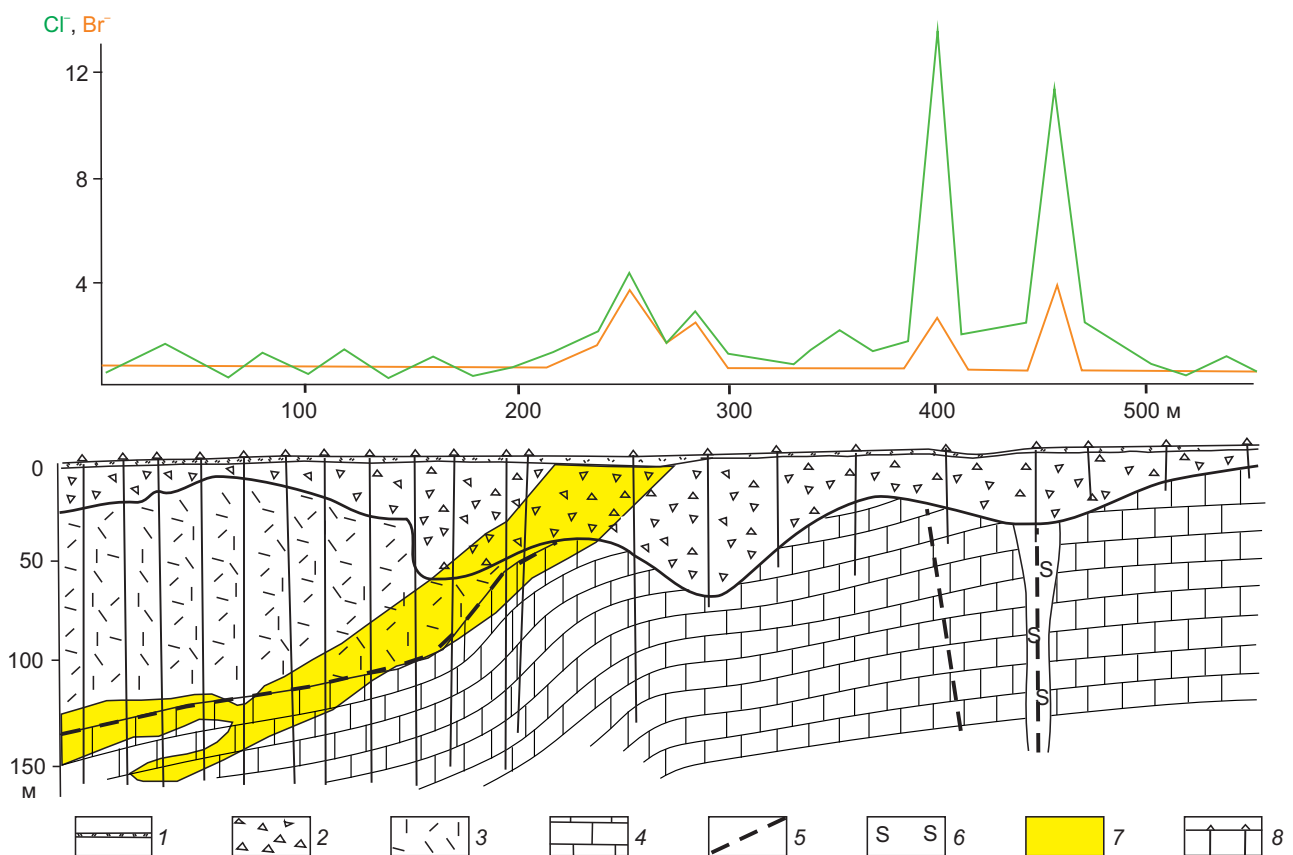


Рис. 5. Графики распределения хлора и брома в золотоносной коре выветривания месторождения Воронцовское:

1 – элювио-делювий; 2 – кора выветривания; 3 – вулканогенно-осадочная толща; 4 – известняки; 5 – тектонические нарушения; 6 – зона интенсивного дробления; 7 – золоторудные тела в коренном залегании и коре выветривания; 8 – поисковые скважины

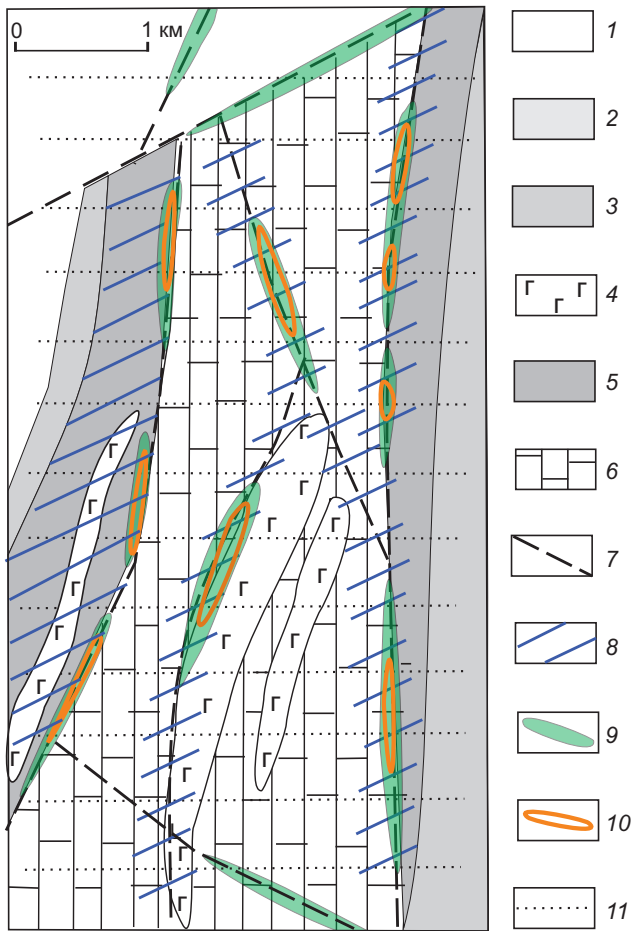


Рис. 6. Фрагмент прогнозной карты золотоносности площади Половинный Увал с аномалиями хлора и брома. По материалам Е. А. Черемисиной, Т. П. Зубовой:

1–3 – отложения: 1 – четвертичные аллювиально-озёрные, 2 – эоценовые морские, 3 – верхнемеловые морские; 4 – габбро-долериты ауэрбаховского комплекса (D_2); 5 – туфы андезитов, андезибазальтов, туфоалевролиты, туфопесчаники; 6 – известняки; 7 – тектонические нарушения; 8 – прогнозируемые золотоносные линейно-карстовые и линейно-трещинные коры выветривания; 9–10 – геохимические аномалии: 9 – хлора, 10 – брома; 11 – профили отбора почвенных проб

малии брома хорошо коррелируют с аномалиями хлора. Величина Br/Cl в одноимённых точках составляет 0,5–0,9, что достаточно близко значениям отношений этих элементов в пределах зон окисленных руд Воронцовского месторождения. Тектонические нарушения северо-восточного и северо-западного направлений фиксируются только аномалиями хлора.

Наиболее контрастные вторичные ореолы рассеяния Cl^- и Br^- выявлены на гидротермальных месторождениях Au, Ag, Cu, Pb, Zn, рудные тела которых контролируются трещинными и разрывными структурами. Ведущими метасоматическими формациями, сопровождающими эти месторождения, являются березиты, гидротермальные аргиллизиты и пропилиты, которые в зоне гипергенеза могут образовывать вторичные ореолы рассеяния NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{++} [4].

Формирование вторичных наложенных ореолов рассеяния высокоподвижных ионов Cl^- , Br^- , NH_4^+ , K^+ , Na^+ над скрытыми рудными месторождениями нельзя объяснить только процессами перераспределения эндогенных форм их накопления (сорбционные формы на тех или иных минеральных сорбентах, растворы в плёночных водах, пары, газы в порах и трещинах, вскрытие газожидких включений при процессах выветривания и др.). Появление аномалий высокоподвижных ионов, проявленных на дневной поверхности и в околорудных породах, может быть объяснено их переносом восходящими к поверхности потоками газов.

В настоящее время пока нет общепринятой теории формирования наложенных ореолов рассеяния, над скрытыми рудными месторождениями. В этой области поисковой геохимии практика полностью опережает теоретические разработки. Временные вариации содержаний элементов в наложенных ореолах позволяют предположить, что их миграция из глубинных источников идёт по единому механизму в форме кластеров из ионов и молекул газа. Ионы элементов и микрочастицы минералов могут быть адсорбированы на поверхности газовых молекул из-за их огромной поверхностной энергии и совместно мигрировать с ними к земной поверхности, при этом одна часть из них разгружается в атмосферу, а другая – сорбируется почвой [1].

На миграцию ионов к земной поверхности и далее в атмосферу наряду с атмосферным давлением влияет множество факторов (температура, влажность, пористость пород и др.), осложняющих их воздействие на результаты наблюдений. При интерпретации аномалий высокоподвижных ионов важен учёт ландшафтных условий. Диагностика аномалий ионов, образующихся в результате процессов аккумуляции на испарительном и сорбционном геохимических барьерах, требует особого внимания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев С. А., Миляев С. А. Геохимические поиски рудных месторождений, не выходящих на дневную поверхность. Состояние и перспективы // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 6–23.
2. Иванчиков В. П. Исследования хлора в породах ореольных зон рудных месторождений Центрального Казахстана // Тез. докладов семинара «Состояние и задачи геохимических поисков рудных месторождений в Казахстане». – Алма-Ата : КазИМС, 1981. – С. 76–77.
3. Иванчиков В. П. Опыт использования ореолов галогенов для поисков рудных месторождений в Центральном Казахстане // Тез. докладов к III Всесоюзному совещанию. – М. : ИМГРЭ, 1982. – Т. 6. – С. 32–34.
4. Миляев С. А., Чекваидзе В. Б. Ионно-потенциметрические индикаторы золоторудных месторождений // Отечественная геология. – 1996. – № 9. – С. 41–47.
5. Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. – Л. : Недра, 1971. – 215 с.
6. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых : Учебник для вузов. – М. : Недра, 1985. – 294 с.
7. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, А. Я. Архипов, В. А. Бугров и др. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
8. Судов Б. А., Трофимов Н. Н., Рычков А. И. и др. Йод и бром – геохимические индикаторы глубокозалегающих рудных месторождений. – М. : Недра, 1994. – 203 с.
9. Трофимов Н. Н., Рычков А. И. Геохимические поля элементов широкого рассеяния и поиски глубокозалегающих рудных месторождений. – М. : Недра, 1979. – 172 с.
10. Трофимов Н. Н., Рычков А. И. Рациональный комплекс работ по глубинному геохимическому прогнозированию // Прогнозно-поисковая геохимия – современное состояние и перспективы развития (к 100-летию со дня рождения профессора А. П. Соловова). – М. : ИМГРЭ, 2008. – С. 98–105.
11. Чекваидзе В. Б., Миляев С. А. Вторичные ореолы рассеяния аммония на золоторудных месторождениях // Руды и металлы. – 1993. – № 1–2. – С. 60–68.

REFERENCES

1. Vorob'yov S. A., Milyayev S. A. Geokhimicheskiye poiski rudnykh mestorozhdeniy, ne vykhodyashchikh na dnevnyuyu poverkhnost'. Sostoyaniye i perspektivy [Geochemical searches for ore deposits that do not reach the surface. Status and prospects], Rudy i metally, 2022, No. 1, p. 6–23. (In Russ.)
2. Ivanchikov V. P. Issledovaniya khlora v porodakh oreol'nykh zon rudnykh mestorozhdeniy Tsentral'nogo Kazakhstana [Studies of chlorine in rocks of aureole zones of ore deposits in Central Kazakhstan], Sostoyaniye i zadachi geokhimicheskikh poiskov rudnykh mestorozhdeniy v Kazakhstane, Alma-Ata, KazIMS publ., 1981, pp. 76–77. (In Russ.)
3. Ivanchikov V. P. Opyt ispol'zovaniya oreolov galogenov dlya poiskov rudnykh mestorozhdeniy v Tsentral'nom Kazakhstane [Experience in using halogen halos to search for ore deposits in Central Kazakhstan], Abstracts of reports to the III All-Union Meeting, Moscow, IMGRE publ., 1982, V. 6, pp. 32–34. (In Russ.)
4. Milyayev S. A., Chekvaidze V. B. Ionno-potentsiometricheskiye indikatory zolotorudnykh mestorozhdeniy [Ion-potentiometric indicators of gold deposits], Otechestvennaya geologiya, 1996, No. 9, pp. 41–47. (In Russ.)
5. Safronov N. I. Osnovy geokhimicheskikh metodov poiskov rudnykh mestorozhdeniy [Fundamentals of geochemical methods for searching for ore deposits], Leningrad, Nedra publ., 1971, 215 p. (In Russ.)
6. Solovov A. P. Geokhimicheskiye metody poiskov mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh [Geochemical methods for searching for mineral deposits], Moscow, Nedra publ., 1985, 294 p. (In Russ.)
7. Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopayemykh [Handbook on geochemical prospecting for minerals], Ed. A. P. Solovov, A. Ya. Arkhipov, V. A. Bugrov et al, Moscow, Nedra publ., 1990, 335 p. (In Russ.)
8. Sudov B. A., Trofimov N. N., Rychkov A. I. et al. Yod i brom – geokhimicheskiye indikatory glubokozalegayushchikh rudnykh mestorozhdeniy [Iodine and bromine are geochemical indicators of deep ore deposits], Moscow, Nedra publ., 1994, 203 p. (In Russ.)
9. Trofimov N. N., Rychkov A. I. Geokhimicheskiye polya elementov shirokogo rasseyaniya i poiski glubokozalegayushchikh rudnykh mestorozhdeniy [Geochemical fields of widely scattered elements and searches for

- deep-lying ore deposits], Moscow, Nedra publ., 1979, 172 p. (In Russ.)
10. *Trofimov N. N., Rychkov A. I.* Ratsional'nyy kompleks rabot po glubinnomu geokhimicheskomu prognozirovaniyu [Rational complex of works on deep geochemical forecasting], Prognozno-poiskovaya geokhimiya – sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya, Moscow, IMGRE publ., 2008, pp. 98–105. (In Russ.)
 11. *Chekvaizde V. B., Milyayev S. A.* Vtorichnyye oreoly rasseyaniya ammoniya na zolotorudnykh mestorozhdeniyakh [Secondary ammonium dispersion halos in gold deposits], Rudy i metally, 1993, No. 1–2, pp. 60–68. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 07.09.23; одобрена после рецензирования 4.10.23; принята к публикации 4.10.23.
The article was submitted 07.09.23; approved after reviewing 4.10.23; accepted for publication 4.10.23.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет». Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.