

ческой модели, включающей 3 основных этапа развития рудоносных блоков земной коры: рудоподготовительный, рудный и пострудный. Целью региональных геолого-съёмочных и прогнозно-минерагенических работ является выделение поисковых площадей ранга урановорудных узлов и полей в пределах перспективных рудных районов.

Проведение поисковых работ на скрытое жильное, жильно-штоковерковое и палеоруслевое оруденение следует проводить в три этапа: на первом — разработка достоверной объемной геолого-поисковой модели, на втором — глубинное картирование путем проведения буровых работ, на третьем — проведение всего комплекса лабораторно-аналитических исследований, оценка обогатимости руд путем лабораторно-технологических или минералого-технологических работ и укрупненная геолого-экономическая оценка выявленного объекта с локализованными прогнозными ресурсами урана кат. P_1 и P_2 .

Полевые ГРР должны включать широкий комплекс геофизических, геохимических, минералогических, петрофизических и других поисковых технологий:

— аэросъемка (аэрогамма-спектрометрическая, аэромагнитная, аэрогравиметрическая, аэроэлектро-разведка в различных модификациях);

— наземные геофизические исследования (электроразведка методами ЗМПП, ВЭЗ/ЭТ, АМТЗ и др.; сейсморазведка методом МОВ-ОГТ, высокоточная гравиразведка, а также традиционные геолого-радиометрические маршруты, заверочная гаммаспектрометрия и др.);

— геохимические методы (изотопно-, био-, атмо-геохимические, микробиологические и др.);

— петрофизические исследования, которые должны предварять полевые геофизические работы;

— минералого-аналитические исследования с применением портативных приборов (РФА-анализаторов и малогабаритных спектрометров, работающих в UV-Vis-NIR диапазоне и др.).

Представленная информация по последовательной стадийности ГРР, методическим подходам и технологиям может быть использована при прогнозировании и поисках скрытых и слабо проявленных месторождений урана жильно-штоковеркового типа в ВТС и зонах ССН, а также палеодолинного песчаникового типа. Однако рассмотренные разработки являются предварительными и требуют значительного совершенствования с учетом ожидаемых геолого-промышленных типов объектов, типовых геолого-структурных и ландшафтных обстановок и современных мировых достижений в области технологий и технических средств выявления скрытых урановых месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

- Бахур, А.Е. Изотопно-почвенный метод и его современные модификации при поисках слепого уранового оруденения / А.Е. Бахур, А.Д. Коноплев, Д.М. Зуев и др. // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 1.
- Еремеев, А.Н. Глубинные поиски погребенных месторождений урана // Методы поисков урановых месторождений / А.Н. Еремеев, А.Н. Красников, А.Н. Фокин. — М.: Недра, 1969. — С. 345–381.

- Еремеев, А.Н. Методика глубинных поисков погребенных эндогенных месторождений / А.Н. Еремеев. — М.: ВИМС, 1969.
- Ищуква, Л.П. Урановые рудообразующие системы областей континентального вулканизма / Л.П. Ищуква, И.С. Модников, И.В. Сычев // Геология рудных месторождений. — 1991. — № 3.
- Коноплев, А.Д. Геологические факторы образования инфильтрационных урановых месторождений в палеорусле («базальный» тип) / А.Д. Коноплев. — М.: ВИМС, 1994.
- Лаверов, Н.П. Зарубежные месторождения урана / Н.П. Лаверов, А.О. Смиркстын, М.В. Шумилин. — М.: Недра, 1983.
- Лучинин, И.Л. Месторождения урана в палеодолинах Зауралья и Забайкалья / И.Л. Лучинин, П.А. Пешков и др. // Разведка и охрана недр. — 1992. — № 5.
- Малышев, В.И. Способ поисков месторождений / Авторское Свидетельство СССР № 215783, заявка класс G01V5/00 № 3087677/24-25, приоритет от 23.04.84 г. / В.И. Малышев, З.А. Соколова, А.Е. Бахур и др. — 1984.
- Машковцев, Г.А. Уран российских недр / Г.А. Машковцев, А.К. Константинов, А.К. Мигута, М.В. Шумилин, В.Н. Щеточкин. — М.: ВИМС, 2010.
- Мигута, А.К. Методические рекомендации по выделению и оценке районов, перспективных на выявление высокопродуктивного эндогенного уранового оруденения / А.К. Мигута, И.С. Модников. — М.: 1999. — 78 с.
- Митрофанов, Е.А. Условия локализации и морфология рудных залежей Хиагдинского месторождения. Матер. по геологии м-ний урана. Вып. 147 / Е.А. Митрофанов, С.И. Макаров. — М.: ВИМС, 2005.
- Пакульнис, Г.В. Месторождения урана типа «несогласия» района Атабаска (Канада) // Минеральное сырье / Г.В. Пакульнис, М.В. Шумилин. — М.: ВИМС, 2005. — № 17.
- Тарханова, Г.А. Генетические особенности формирования уранового оруденения «витимского» типа / Г.А. Тарханова, Д.А. Прохоров // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 11.

© Коллектив авторов, 2021

Машковцев Григорий Анатольевич // gregor1944@mail.ru
Гребенкин Николай Анатольевич // grebenkin@vims-geo.ru
Овсянникова Татьяна Михайловна // matgem@yandex.ru
Прохоров Данила Артемович // prokhorov@vims-geo.ru
Ржевская Анна Кирилловна // rzhevskaya@vims-geo.ru
Стародубов Алексей Валерьевич // sav@u238.ru
Березнев Михаил Владимирович // bereznev_m@vims-geo.ru
Коротков Владимир Викторович // vvk46@list.ru

УДК 550.84

Марченко А.Г. (ООО «Теллур Северо-Восток»),
Ильченко В.О., Никулина А.А., Легких О.А.
(ООО «Норильскгеология»)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОИСКОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ОСНОВАННЫХ НА ВЫЯВЛЕНИИ ВТОРИЧНЫХ ОРЕОЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

На участке с сочетанием благоприятных и неблагоприятных условий проведения геохимических поисков по вторичным ореолам и наличием золото-молибден-медно-порфирового оруденения проведены опытно-методические геохимические работы с использованием пяти методов: ММИ (метод поисков по мобильным ионам), ИСМ (ионно-сорбционный метод), МДИ (метод диффузионного извлечения), МЕФФА (метод поисков по тонкой

фракции рыхлых отложений), типовая литохимическая съемка по вторичным ореолам. Дана сравнительная оценка поисковой эффективности использованных методов.

Ключевые слова: литохимические поиски по вторичным ореолам, Au-Mo-Cu-порфировое оруденение, Восточное Забайкалье, остаточные вторичные ореолы, наложенные вторичные ореолы, формы нахождения элементов, селективный анализ, оценка эффективности.

Marchenko A.G. (Tellur North-East), Ilchenko V.O., Nikulina A.A., Legkikh O.A. (Norilskgeologia)

COMPARATIVE EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF GEOCHEMICAL METHODS BASED ON DETECTION OF SECONDARY DISPERSION PATTERNS IN DIFFERENT OCCURRENCE MODES OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE ENVIRONMENTS OF EASTERN TRANS-BAIKAL

Test soil geochemical surveys were carried out in the area which contains Au-Mo-Cu porphyry ores and is characterized by interchanged favorable and unfavorable soil geochemical prospecting conditions. The five geochemical methods were used which are MMI (Mobile Metal Ion geochemistry), ISM (Ionic Sorption Method), MDE (Method of Diffusive Extraction), MEFFA (Multi-Element Fine Fraction Analysis), and conventional soil geochemical survey. A comparative evaluation of the efficiency of those geochemical methods is given.

Keywords: soil litho-geochemical prospecting, Au-Mo-Cu porphyry ore, Eastern Trans-Baikal, residual dispersion patterns, superimposed dispersion patterns, occurrence modes of chemical elements, selective analysis, efficiency evaluation.

Введение

На открытых территориях, где развиты маломощные элювиально-делювиальные отложения, интенсивно проявляются остаточные механические (обломочные) или комбинированные обломочно-солевые вторичные ореолы рассеяния, которые при выполнении поисковых геохимических работ (ГХР) уверенно выявляются типовой литохимической съемкой по вторичным ореолам (ТЛХС) с анализом валовых содержаний элементов [7, 8]. Следует отметить, что при ведении ГХР в последние 10–15 лет началось широкое применение высокочувствительных прецизионных аналитических методов: ICP-AES/MS на 30–50 элементов и пробирного анализа на золото с ICP или атомно-абсорбционным окончанием, что способствовало повышению результативности ГХР (хотя применение этих методов анализа до сих пор не регламентируется инструктивными документами по геохимическим поискам). Однако на полузакрытых и закрытых территориях с более сложными условиями ведения поисковых работ, несмотря на использование современных анализов, проявленность остаточных литохимических ореолов рассеяния в приповерхностных горизонтах рыхлых отложений ухудшается, местами вплоть до полного отсутствия аномалий, когда остаточные ореолы перекрыты наносами. В таких условиях рудные объекты не всегда выделяются по результатам ТЛХС, но в ряде случаев могут быть выявлены по

наложенным сорбционно-солевым вторичным литохимическим ореолам, которые формируются за счет физико-химической миграции химических элементов в подвижных растворенных формах нахождения с последующей их вторичной фиксацией в рыхлых образованиях в слабо закрепленных формах нахождения (сорбированное состояние, новообразованные кислородные соли и др.). Для выявления таких наложенных сорбционно-солевых ореолов рекомендуется применять специальные методы с частичным (селективным) анализом содержаний информативных форм нахождения элементов в рыхлых отложениях [2]. В последнее время такие методы, в том числе новые, все больше внедряются в практику поисковых ГХР за рубежом и в России. По этой причине сравнительная оценка поисковой эффективности разных геохимических методов, основанных на выявлении вторичных ореолов в различных формах нахождения элементов, представляет собой актуальную задачу. Для ее решения на одном из участков Восточного Забайкалья, в пределах которого сочетаются открытые, полузакрытые и закрытые территории, были проведены опытно-методические геохимические работы (ОМГХР) по апробации перспективных технологий крупномасштабных геохимических поисков месторождений и рудных тел с параллельным использованием пяти разных методов: 1) MMI (Mobile Metal Ion geochemistry) — метод поисков по мобильным ионам; 2) ИСМ (Ионно-Сорбционный Метод); 3) МДИ (Метод Диффузионного Извлечения); 4) MEFFA (Multi-Element Fine Fraction Analysis) — метод поисков по тонкой фракции рыхлых отложений; 5) ТЛХС — регламентированный «Инструкцией по геохимическим методам...» [4] метод литохимических поисков по вторичным ореолам, использованный в качестве метода для сравнения.

Краткая характеристика участка

Участок ОМГХР, расположенный в таежной местности Восточного Забайкалья, занимает водораздельную область между двумя малыми реками. Рельеф местности — сглаженный низкогорный с абсолютными отметками от 870 до 1060 м. По северным склонам сопок и в долинах водотоков развита островная многолетняя мерзлота.

Юго-восточная часть участка, составляющая примерно 2/3 его площади, характеризуется средней степенью расчлененности рельефа с изменчивой крутизной склонов: встречаются как узкие гребни хребтов с крутыми склонами, так и гладкие вершины и пологие склоны сопок. Обнажения коренных пород весьма редки, но часть крутых и средней крутизны склонов покрыта каменными осыпями — курумами. Четвертичный покров представлен элювиально-делювиальными и в нижних пологих частях склонов — коллювиальными отложениями, мощность которых меняется от 0,5–3,0 м в элювиально-делювиальных до 7–10 м в коллювиальных образованиях. По условиям проведения геохимических поисков эта часть участка относится к открытым (на участках с минимальной мощностью остаточных и локально перемещенных элю-

виально-делювиальных отложений) и полузакрытым (на участках с большей мощностью элювиально-делювиальных и коллювиальных отложений) территориям.

Северо-западная треть участка характеризуется менее расчлененным рельефом. Выделяется пологая обширная низина на севере участка, представляющая собой заболоченный лес и местами полуоткрытое болото. Мощность четвертичных отложений здесь заведомо выше (до 10 м и более), обнажения коренных пород отсутствуют, а в верхней части рыхлого покрова залегают как аллювиальные и пролювиальные, так и торфяно-болотные отложения с развитием островной многолетней мерзлоты. По условиям проведения геохимических поисков эта часть участка работ относится к полузакрытым и, в пределах заболоченной низины, закрытым территориям, неблагоприятным для опоскования методом ТЛХС.

На открытых и полузакрытых незаболоченных территориях участка распространены бурые лесные, реже — дерново-подзолистые лесные почвы. На закрытой заболоченной территории минеральные горизонты почвы залегают глубже под увеличенным слоем торфяных отложений, и в некоторых случаях проботбор из подторфяных горизонтов с поверхности без применения специальных технических средств не мог быть осуществлен.

В геологическом строении площади работ принимают участие биотит-роговообманковые граниты и гранодиориты ундинского комплекса (P_1), прорванные интрузивными породами шахтаминского комплекса (J_{2-3}), первая фаза которого представлена диоритами, вторая — гранодиоритами, третья — лейкократовыми гранитами и гранит-аплитами, а также дайками дацитовых, андезитовых порфиров и гранодиорит-порфиров. Структурный план участка образуют протяженные разломы северо-западной ориентировки, часто маркируемые дайками гранодиорит-порфиров и фиксируемые методами геофизики (электроразведка, магниторазведка). Более редкие разломы северо-восточного простирания выражены уступами рельефа, межсочными седловинами, долинами ручьев и межпрофильными нарушениями корреляции геофизических полей. Широко проявлены зоны гидротермально-метасоматических изменений: аргиллизация,

филлизитизация, калишпатизация, фельдшпатизация и др. Протяженность этих зон до 500 и более метров, ширина — до первых метров, расстояние друг от друга 10–100 м. Сближенные зоны измененных пород создают полосы шириной в сотни метров и более (рис. 1).

На участке ОМГХР имеется два рудопроявления золото-молибден-медно-порфирового типа: Восточное и Западное, которые ранее изучались с поверхности и на глубину. Вещественный состав вкрапленной и прожилково-вкрапленной рудной минерализации рудопроявлений типичен для медно-порфировых месторождений. По минеральному составу оруденение относится к молибденит-халькопирит-пиритовому золотосодержащему типу. Главные рудные минералы — пирит и халькопирит, второстепенные — блеклая руда, борнит, фаматинит, галенит, сфалерит, редкие — марказит, магнетит, висмутин, виттихенит, энаргит, бурнонит, гематит, молибденит, шеелит. Основным полезным компонентом руды является медь, попутными компонентами — молибден, золото и серебро. Исходя из этого, а также по результатам литохимического опробования оруденелых пород по каналам и керну к главным индикаторным элементам данного оруденения относятся: Cu, Mo, Au, Ag, As, Sb, Pb, Zn, Bi, W; при использовании достаточно чувствительных анализов этот список дополняют Cd, In, Te. К деконцентрирующимся элементам, которые выносятся из зон рудной минерализации в первую очередь относятся Na, Ca, Ba.

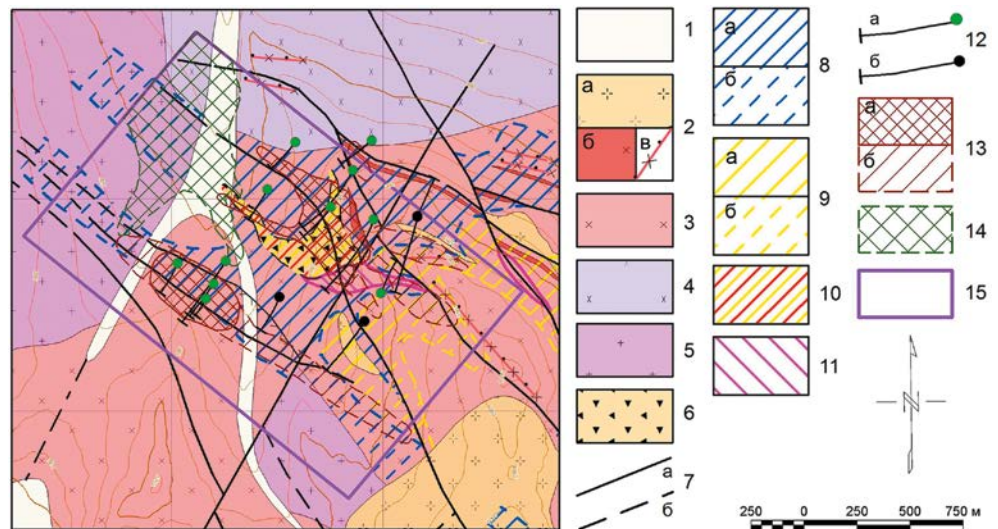


Рис. 1. Геологическое строение участка ОМГХР: 1 — четвертичные отложения; 2 — третья фаза шахтаминского комплекса: а — лейкократовые граниты, б — гранит-аплиты, в — дайки малой мощности; 3 — вторая фаза шахтаминского комплекса: гранодиориты; 4 — первая фаза шахтаминского комплекса: диориты; 5 — ундинский комплекс: граниты биотит-роговообманковые и гранодиориты; 6 — зона развития минерализованных взрывно-гидротермальных брекчий в проекции на дневную поверхность; 7 — тектонические нарушения: а — уверенно выделенные по геофизическим данным, б — предполагаемые; 8 — филлизитизация: а — установленная, б — предполагаемая; 9 — аргиллизация: а — установленная, б — предполагаемая; 10 — калишпатовая аргиллизация; 11 — фельдшпатизация; 12 — поисковые скважины с горизонтальными проложениями: а — вскрывшие, б — не вскрывшие оруденение с промышленными содержаниями; 13 — рудоносные минерализованные зоны: а — установленные по геологическим маршрутам и горно-буровым работам, б — предполагаемые по геофизическим данным; 14 — закрытая территория; 15 — участок ОМГХР

Характеристика использованных геохимических методов

Метод анализа почв «Подвижные ионы металлов» (ММИ), разработанный в Австралии А. Манном с соавторами [10,11], широко используется при поисках рудных месторождений уже на протяжении более 15 лет. Метод ММИ основан на обработке пробы слабыми растворами органических и неорганических экстрагентов — лигандов для десорбции ионов металлов и других химических элементов, адсорбированных на поверхности глинистых частиц, гидроксидов железа и марганца, карбонатных минералов, других неорганических и органических компонентов почв. Пробы отбираются с глубины 10–25 см ниже дневной поверхности либо подошвы гумусового слоя при его наличии. Применяемые лиганды обладают высокой способностью к комплексообразованию с десорбируемыми ионами и при этом не воздействуют или минимально воздействуют на более прочно связанные формы нахождения элементов в почвенных пробах. Аналитическая часть метода ММИ в настоящее время реализуется лабораториями «SGS».

Метод ММИ предназначен в первую очередь для выявления наложенных сорбционных вторичных ореолов рассеяния, что особенно актуально для закрытых территорий. В то же время, если в корах выветривания, зонах окисления рудной минерализации и остаточных вторичных литохимических ореолах протекают процессы, вовлекающие индикаторные элементы не только в механическую, но и физико-химическую миграцию, методом ММИ могут выявляться не только наложенные, но и остаточные вторичные литохимические ореолы по адсорбированным формам нахождения элементов, в том числе в автохтонных элювиально-делювиальных отложениях малой мощности.

Ионно-сорбционный метод (ИСМ), разработанный в ЦНИГРИ, использует частичную экстракцию элементов из рыхлых отложений разбавленным раствором азотной кислоты. Метод положительно зарекомендовал себя при поисках погребенных полиметаллических и медных месторождений [5] и в принципе может использоваться для поисков сульфидных месторождений других типов. ИСМ нацелен на выявление наложенных вторичных литохимических ореолов у дневной поверхности на основе селективного извлечения в раствор и анализа слабо закрепленных в почвах форм нахождения химических элементов. При этом ИСМ может обнаруживать и остаточные вторичные ореолы в автохтонных отложениях, если в них обломочный материал претерпел физико-химические преобразования.

Метод диффузионного извлечения (МДИ) относится по терминологии его разработчиков из ВИТР и затем НПО «Рудгеофизика» к группе так называемых геоэлектрохимических методов. МДИ нацелен на изучение слабо закрепленных водорастворимых сорбированных форм нахождения элементов в рыхлых отложениях [3]. Экстракция осуществляется за счет диализа, вызывающего проникновение элементов через

полупроницаемую мембрану в элементоприемник, заполненный раствором азотной кислоты. В применяющемся сейчас варианте МДИ диализ осуществляется из почвенной пробы горизонта В в раствор кислоты в лабораторных условиях в диализных ячейках, в которых навеска почвы массой 10 г (фракция –1 мм) смачивается дистиллированной водой (10 мл) до полной влагонасыщенности в течение 18 часов и затем отделяется от верхней камеры пергаментной мембраной, на поверхность которой наливается 25 мл раствора однонормальной азотной кислоты; время выдержки — 5 часов. После этого раствор кислоты осторожно сливают и направляют на ICP-AES/MS анализ.

МДИ, в отличие от ИСМ, несмотря на использование в элементоприемнике азотной кислоты, использует более мягкий вариант диализного экстрагирования и поэтому нацелен на анализ слабо закрепленных форм нахождения элементов в почвах. Как и предыдущие два метода МДИ может обнаруживать, в том числе остаточные ореолы рассеяния в автохтонных отложениях, если обломочный материал претерпел физико-химические преобразования.

MEFFA — это метод литохимических поисков на основе анализа тонкой фракции рыхлых отложений с использованием лазерной абляции с ICP-MS анализатором (LA-ICP-MS) для определения золота и других элементов [1]. Сущность этого метода, разработанного российско-финским коллективом компании «MEN Finland», заключается в следующем. Пробы рыхлых отложений отбираются из горизонта В почв и сначала анализируются в полевой лаборатории с использованием портативного рентгено-флуоресцентного анализатора (ПРФА). Специальная пробоподготовка MEFFA включает две стадии: 1) выделение тонкой фракции (<5–10 мкм) путем мокрого ситования и отмучивания; 2) помещение тонкой фракции проб в ячейки на стеклянной пластинке–кассете для последующего лабораторного анализа. На каждую пластинку, кроме тонкой фракции проб наносится также тонкая фракция лабораторного стандарта. На кассете, приготовленной для анализа, уместается около 200 проб тонкой фракции и около 20 проб лабораторного стандарта. Кассета помещается в вакуумную камеру лазерной абляции, откуда материал каждой пробы последовательно, проба за пробой, поступает в ICP-MS анализатор. В пробах определяется золото, в настоящее время ведется отработка методики определения Pt, Pd, Cu, Ni и других элементов. С точки зрения используемой фракции отложений MEFFA является близким аналогом метода анализа сверхтонкой фракции (МАСФ) [2] и зарубежных методов, использующих анализ тонких (<0,063 мм) и сверхтонких (<0,002 мм) фракций покровно-ледниковых рыхлых отложений [9].

ТЛХС — это стандартный метод литохимических поисков по вторичным ореолам [4], но в данной работе с использованием современных инструментальных методов анализа (ICP-AES/MS на 51 элемент и пробирный анализ на золото с ICP-AES окончанием).

Методика выполненных исследований

Отбор проб осуществлялся по предварительно разбитой сети 100×100 м с детализацией на локальном участке Восточного рудопроявления по сети 100×50 м. На каждой точке отбиралось 5 проб в соответствии с пятью методами литохимических поисков (табл. 1). Объем опробования рыхлых отложений составил 281 рядовую точку и 16 повторных (контрольных) точек

соответственно — 1405 и 80 проб. Лабораторная пробоподготовка и аналитические работы выполнялись в четырех лабораториях (табл. 2).

При камеральной обработке данных использовались методы статистического анализа. Поскольку на начальном этапе обработки было выяснено, что статистические распределения содержаний практически всех элементов лучше аппроксимируются логарифмически-нормальным законом, математические операции производились со значениями логарифмов содержаний с последующим обратным переходом к значениям самих содержаний либо стандартизованных показателей. Стандартизованные значения содержания элемента $u(C)$ рассчитывались по формуле:

$$u(C) = (\lg C_{X,Y} - \lg C_{ME}) / \lg \varepsilon,$$

где $C_{X,Y}$ — содержание элемента в точке с координатами (X,Y); C_{ME} — медианное значение содержаний элемента в совокупности данных, принимаемое за фон; ε — стандартный множитель статистического распределения содержаний. Стандартизованные содержания (по А.П. Соловову [7] показатели контрастности) рассчитывались отдельно по двум выборкам проб, которые соответствовали, согласно ландшафтно-геохимической схеме, данным опробования открытых и полужакрытых территорий с одной стороны и закрытой территории на севере участка, с другой; при этом параметры C_{ME} и ε вычислялись отдельно по каждой из двух указанных выборок. Для построения полиэлементных карт использовались значения факторов по результатам факторного анализа данных и полиэлементные показатели (ПП), рассчитываемые как суммы стандартизованных содержаний элементов рудной ассоциа-

Таблица 1
Методики опробования рыхлых отложений и полевой пробоподготовки

Метод	Методика отбора проб	Полевая пробоподготовка и масса проб
ММИ	С глубины 10-25 см без учета верхнего дерново-гумусового горизонта A_{01} . Пробоотбор производился задиркой материала со стенки закопушки без разделения по почвенным горизонтам	Отбираемые пробы (0,3–0,5 кг) помещались в полиэтиленовые пакеты и отправлялись в лабораторию без сушки и полевой пробоподготовки
ИСМ	Из верхнего почвенного горизонта A_1 с глубины 5-10 см ниже дернового слоя A_0	Отбираемые пробы обеспечивали массу готовых воздушно-сухих проб (<0,1 мм) не менее 10 г
МДИ	Из иллювиального почвенного горизонта В, залегающего ниже гумусового и подзолистого горизонтов. Типичные глубины отбора составляли 0,3–0,5 м. При сокращенном почвенном профиле пробы отбирались из горизонта С – подпочвенных рыхлых отложений, местами с дресвой выветрелых пород	Отбираемые пробы обеспечивали массу готовых воздушно-сухих проб (<1 мм) не менее 250 г
МЕФФА	Типичные глубины отбора составляли 0,3–0,5 м. При сокращенном почвенном профиле пробы отбирались из горизонта С – подпочвенных рыхлых отложений, местами с дресвой выветрелых пород	Отбираемые пробы обеспечивали массу отмученной тонкой фракции проб не менее 3 г
ТЛХС	Отбираемые пробы обеспечивали массу готовых воздушно-сухих проб (<1 мм) не менее 250 г	Отбираемые пробы обеспечивали массу готовых воздушно-сухих проб (<1 мм) не менее 250 г

Таблица 2
Лабораторная пробоподготовка и аналитические работы

Тип пробы	Лабораторная пробоподготовка	Аналитические работы
ММИ	Лаборатория АО «СЖС Восток Лимитед». Методика ММИ-М. Селективное извлечение легкоподвижных форм элементов специальным раствором	Лаборатория АО «СЖС Восток Лимитед». ММИ-М, 53 элемента. Определение содержаний элементов в растворе
ИСМ	Лаборатория ООО «Востокгеология». Методика ИСМ. Азотнокислая вытяжка легкоподвижных форм элементов в течение 4 часов	Лаборатория АО «СЖС Восток Лимитед». ICP-MS (IMS84T), 32 элемента. ICP-AES (ICP84T), 50 элементов. Определение содержаний элементов в растворе
МДИ	Лаборатория ООО «Полевая геофизика». Методика МДИ. Диализное извлечение легкоподвижных форм элементов в элементоприемник с раствором азотной кислоты в течение 5 часов	Лаборатория ООО «Полевая геофизика. ICP-AES/MS, 36 элементов. Определение содержаний элементов в растворе
МЕФФА	Лаборатория ООО «МЕФФА ЛАБ РУ». Методика МЕФФА. Отмучивание тонкой фракции (<5-10 мкм) для определения Au. Стандартная пробоподготовка для ПРФА	Лаборатория ООО «МЕФФА ЛАБ РУ» LA-ICP-MS, Au. ПРФА, 22 элемента. Определение содержаний элементов в пробе
ТЛХС	Лаборатория АО «СЖС Восток Лимитед». 4-х кислотное растворение	Лаборатория АО «СЖС Восток Лимитед». Пробирный анализ с ICP-AES окончанием, Au. ICP-MS/AES (ICM40B), 51 элемент. Определение содержаний элементов в пробе

ции, поделенные на корень квадратный из количества суммируемых слагаемых.

Результаты исследований

Результаты факторного анализа показали, что по данным всех пяти примененных геохимических методов уверенно выделяется рудная ассоциация, проявленная во всех изученных формах нахождения элементов в рыхлом покрове участка. Главными элементами рудной ассоциации во вторичных ореолах являются Cu, Mo, Au, Ag, As, Sb, Pb, Zn, Bi, W (за исключением Au, Ag и Bi по результатам ИСМ, поскольку по золоту не оказалось значимых результатов анализа выше предела обнаружения 0,1 ppb, а аналитические данные по серебру и висмуту были признаны браком). Главным элементом рудной ассоциации сопутствуют по данным отдельных методов, такие редкие элементы как Cd (ММИ, ИСМ, МДИ, ТЛХС), Hg (ММИ), In (ИСМ, МДИ), Te (МДИ, ТЛХС), Tl (ТЛХС).

Кроме рудного фактора и соответствующей ассоциации по результатам факторного анализа по данным четырех методов, кроме MEFFA, выделился фактор редкоземельно-радиоактивной ассоциации, в которую входят Y, редкоземельные элементы (РЗЭ), U и Th (отсутствие такого фактора по данным MEFFA объясняется тем обстоятельством, что указанные эле-

менты не анализировались ПРФА). Кроме того, выделились два петрогенных фактора. Первый петрогенный фактор, проявившийся по данным ММИ, ИСМ и ТЛХС, контролирует соотношение антагонистических ассоциаций петрогенных элементов: в одной из них ведущую роль играют Rb, Cs и другие гранитофильные элементы, в другой — Mg, Sr, Ca и Ba. Разные соотношения содержаний элементов этих ассоциаций отражают различия вещественного состава разновидностей гранитов, гранодиоритов и диоритов, залегающих в разных частях участка работ. Второй петрогенный фактор, проявившийся по данным ИСМ, МДИ, MEFFA и ТЛХС, отражает распределение в рыхлых отложениях содержаний базифильных элементов: Cr, Ni, Ti, V, Fe, Mg, Mn, Co. Можно полагать, что повышенным значениям этого фактора соответствуют выходы на уровень эрозии менее кислых пород с повышенным содержанием мафических минералов, которые являются источниками базифильных элементов, поступающих в рыхлые отложения при выветривании и разрушении магматических пород. То обстоятельство, что этот фактор не проявился по данным ММИ можно объяснить спецификой экстракции, применяемой в этом методе. Поскольку экстрагент ММИ предназначен в первую очередь для выявления аномалий

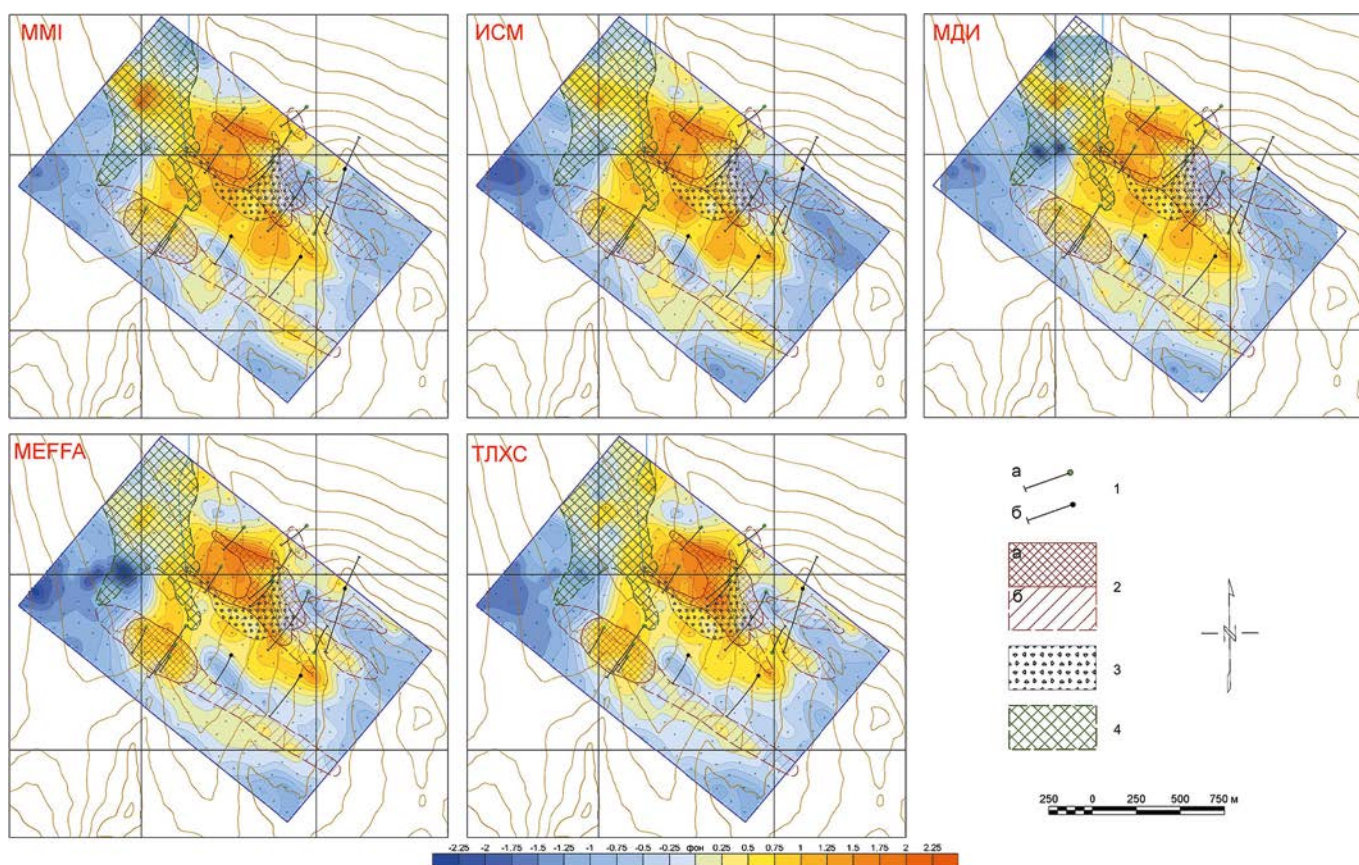


Рис. 2. Карты стандартизованных содержаний меди в рыхлых отложениях по данным пяти методов: 1 — поисковые скважины с горизонтальными проложениями, вскрывшие (а) и не вскрывшие (б) оруденение с промышленными содержаниями; 2 — рудоносные минерализованные зоны, установленные по геологическим маршрутам и горно-буровым работам (а) и предполагаемые по геофизическим данным (б); 3 — зона развития минерализованных взрыво-гидротермальных брекчий в проекции на дневную поверхность; 4 — закрытая территория

рудной природы — силикаты, оксиды и кислородные соли ряда петрогенных элементов слабо растворяются или не растворяются применяемым экстрагентом. Это позволяет сделать заключение об ограниченных возможностях метода ММІ, нацеленного на выявление вторичных ореолов оруденения при выявлении и картировании петрогенных геохимических аномалий.

Ниже рассматриваются результаты выделения вторичных ореолов оруденения по данным различных методов.

Наиболее интенсивные аномалии меди по результатам всех пяти методов (рис. 2) локализованы на участках Восточного и Западного рудопроявлений и являются их вторичными ореолами. Отмечается небольшое (от десятков до 100–200 м) растягивание и смещение вторичных ореолов от коренных источников вниз по склонам. От участков рудопроявлений наблюдается продолжение аномальных зон, но более узких и слабее проявленных на юго-восток, а также продолжение аномальной зоны Восточного рудопроявления в северо-западном направлении на закрытую территорию. Аномальные геохимические поля (АГХП) меди по данным всех пяти использованных методов являются в целом сходными, однако контрастнее всего продолжение аномальных зон проявлено по результатам ММІ.

АГХП молибдена (рис. 3) похожи на АГХП меди, но с тем отличием, что наблюдается смещение «центра

тяжести» аномалий молибдена в область, расположенную между участками Восточного и Западного рудопроявлений. Выделяется обширное АГХП молибдена в центре опоискованной площади, захватывающее в том числе и край закрытой территории на севере. Все использованные методы дали сходные результаты.

Значимые результаты по золоту были получены четырьмя методами из пяти (в пробах ИСМ все содержания оказались не достигающими нижнего предела обнаружения 0,1 ppb). Последнее, скорее всего, является следствием применения азотнокислого растворения навески твердофазной пробы при пробоподготовке: присутствующие в пробах частицы самородного золота не растворяются азотной кислотой и не переходят в анализируемый раствор. По результатам ММІ, МЕФФА и ТЛХС получены сходные карты АГХП золота, наиболее интенсивные вторичные ореолы зафиксированы на участках Восточного и Западного рудопроявлений (рис. 4). Методами ММІ и МЕФФА на флангах рудопроявлений выделяются аномалии золота, которые не фиксируются ТЛХС: на юго-восточном продолжении Западного и на северо-западном продолжении Восточного рудопроявлений на закрытом заболоченном участке с повышенной мощностью рыхлых отложений. В свою очередь, результаты МДИ существенно отличаются от результатов ММІ и МЕФФА. По МДИ уверенно выявилось Восточное рудопроявление и его продолжение на север, но только в пределах откры-

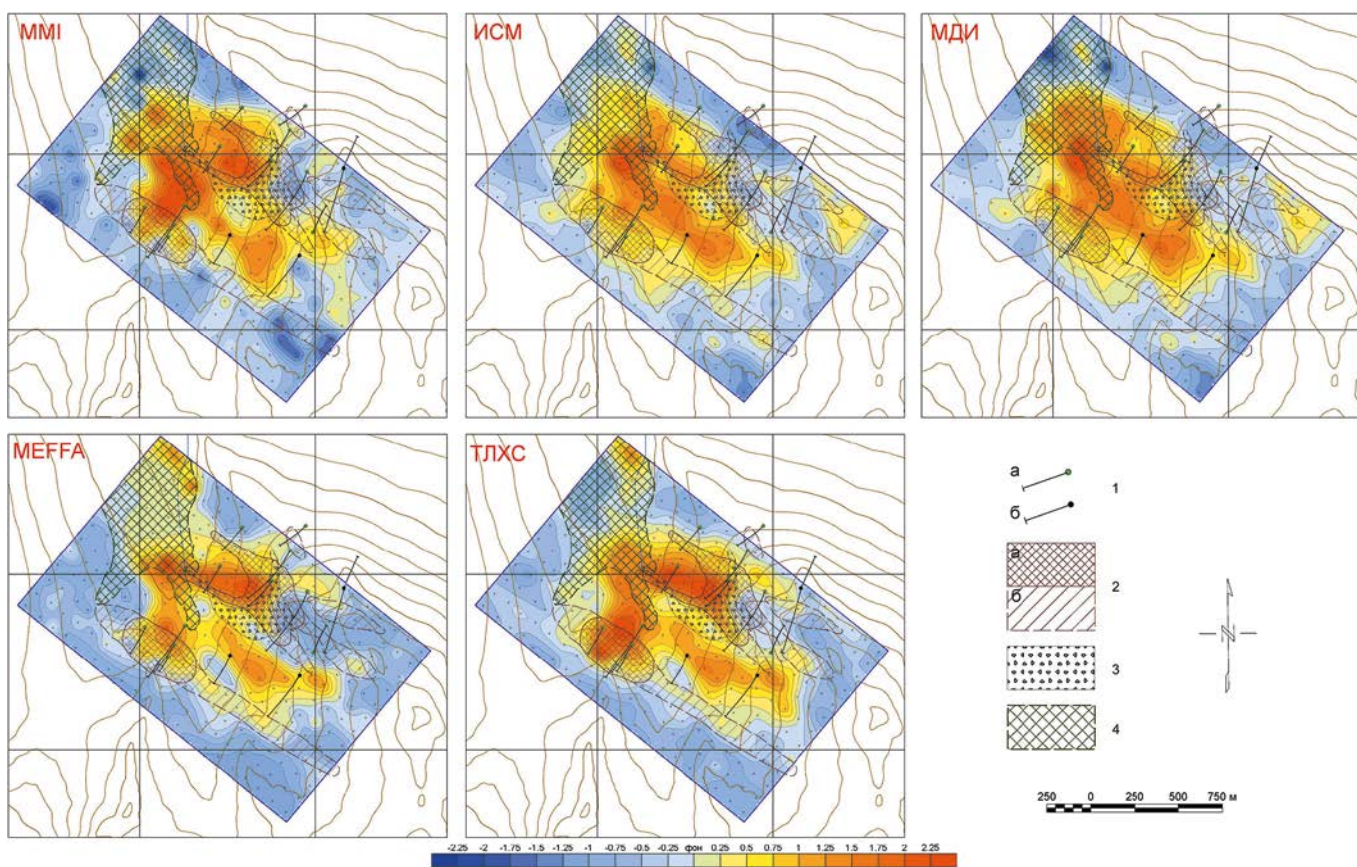


Рис. 3. Карты стандартизованных содержаний молибдена в рыхлых отложениях по данным пяти методов. Условные обозначения см. на рис. 2

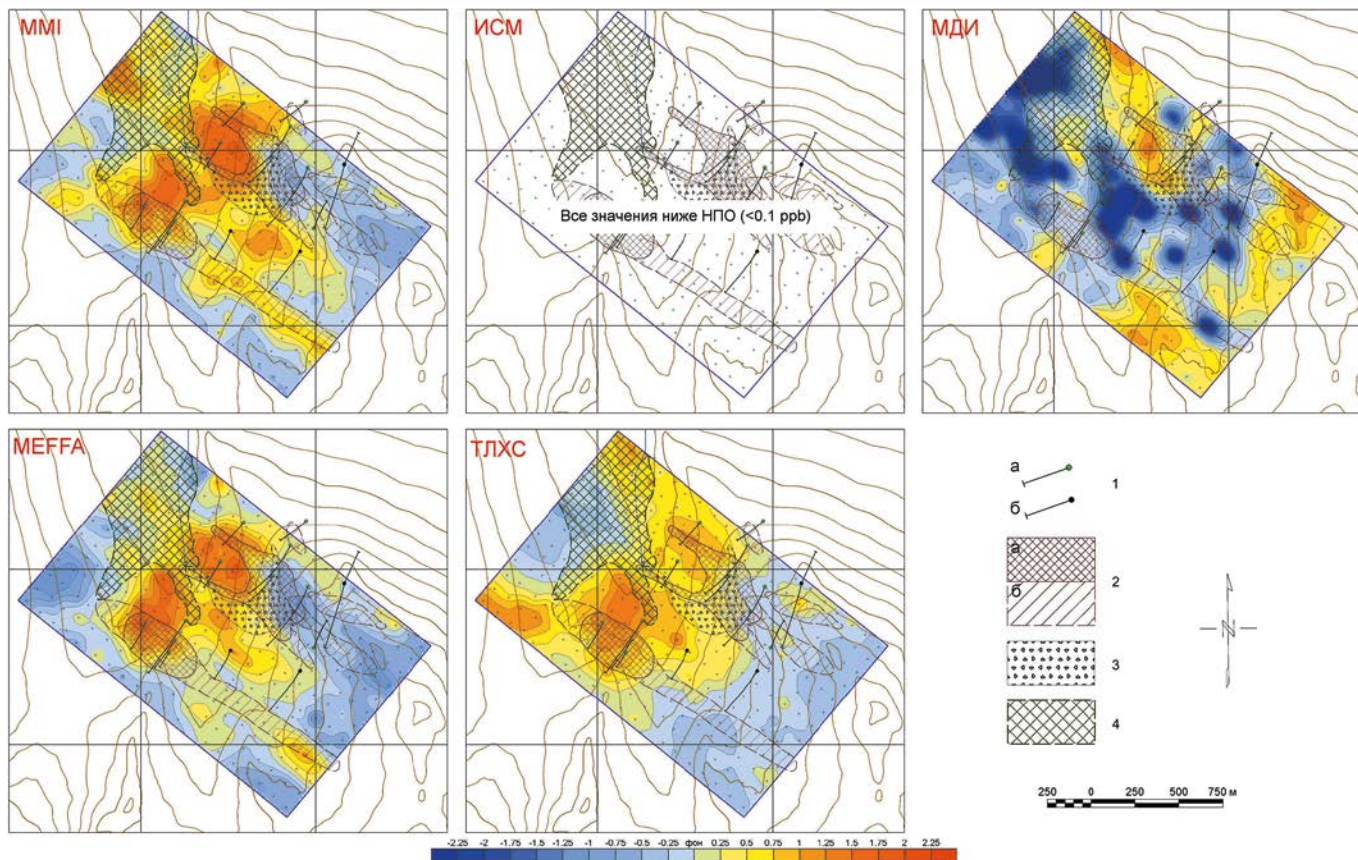


Рис. 4. Карты стандартизованных содержаний золота в рыхлых отложениях по данным пяти методов. Условные обозначения см. на рис. 2

той территории на склоне, а Западные рудопроявления практически не проявились. При этом по МДИ выделились аномалии на юге и юго-востоке площади, не подтвержденные результатами по другим методам. Возможной причиной в данном конкретном случае оказалось неудовлетворительное качество определения подвижных форм золота в пробах МДИ — по результатам контроля величина погрешности выходит за допустимый предел, а корреляция между данными рядового и контрольного опробований на золото отсутствует.

Результаты по серебру получены только тремя методами, так как по данным ИСМ качество анализа на серебро было признано неудовлетворительным, а методом МЕФФА серебро не определялось. Применение MMI, МДИ и ТЛХС привело к сходным результатам — уверенно выявились вторичные ореолы обоих рудопроявлений. Кроме того, проявилось специфическое обогащение серебром зоны вдоль восточного фланга опоискованной площади, в том числе на закрытой территории.

В целом же результаты ОМГХР показывают, что зоны рудной золото-молибден-медной со спутниками минерализации, включая оба рудопроявления, надежнее всего выделяются на картах полиэлементных показателей (ПП), включающих главные элементы — индикаторы оруденения: Ag, As, Au, Bi, Cu, Mo, Sb, W (рис. 5). Редкими элементами — дополнительными

индикаторами являются Cd, Hg, In и Te, однако выявление и картирование их аномалий в рыхлых отложениях требует применения чувствительных методов анализа проб с достаточно низким нижним пределом обнаружения.

На основе обобщения и анализа всех результатов ОМГХР построена прогнозно-геохимическая карта участка (рис. 6). На ней выделены зоны, протягивающиеся через всю опоискованную площадь: зона, вмещающая золото-молибден-медную со спутниками рудную минерализацию и зона редкоземельно-радиоактивной минерализации. На карте оконтурены полиэлементные вторичные ореолы рассеяния Восточного и Западного рудопроявлений площадью 0,17 и 0,11 км² соответственно, по которым рассчитаны площадные продуктивности аномалий главных элементов оруденения (табл. 3). Продуктивности аномалий ТЛХС и МЕФФА сопоставимы по величине, поскольку и в том, и другом методе определялись валовые содержания элементов в твердой фазе литохимических проб (заметим только, что в методе МЕФФА серебро не определялось). В свою очередь, продуктивности аномалий MMI, ИСМ и МДИ во много раз меньше по величине, поскольку в этих методах определялись не валовые, а частичные содержания элементов в слабо закрепленных формах нахождения в рыхлых отложениях, при этом численные значения содержаний соответствуют не исходным пробам, а растворам, которые получены

экстрагированием этих форм нахождения элементов из твердофазных проб в раствор. Среди методов ММИ, ИСМ и МДИ относительно более высокие продуктивности аномалий по всем четырем металлам дает метод ММИ — можно полагать, что он позволяет извлекать больше форм нахождения, включая те из них, которые несколько прочнее связаны с твердофазной матрицей. В этом методе достигается наибольшая доля извлечения серебра и золота, меньшая доля извлечения меди и наименьшая — молибдена. Заметим, что численные значения коэффициентов соответствия продуктивностей аномалий, выявляемых по типовой методике литохимических поисков по вторичным ореолам с одной стороны, и методами ММИ, ИСМ, МДИ и МЕФФА с другой, получены впервые как в отечественной, так и мировой практике. Эти коэффициенты должны в дальнейшем уточняться по мере накопления статистических данных по другим объектам и, возможно, смогут затем использоваться при оценке прогнозных ресурсов по геохимическим данным, полученным методами ММИ, ИСМ, МДИ и МЕФФА.

На камеральном этапе ОМГХР была также предпринята попытка оценить возможность разрежения сети опробования на начальном этапе геохимических поисков по вторичным ореолам. Проблема оптимизации сетей ГХР и возможности их разрежения без потери информативности ГХР активно обсуждается в последнее время [6]. Путем прореживания точек опробования были выделены варианты баз резуль-

тативных данных по разреженным сетям. С учетом того, что по результатам всех использованных методов были закартированы сходные по пространственному рисунку АГХП, при разрежении сетей были взяты только результаты ТЛХС. В итоге для построения и сравнения моноэлементных карт Cu, Mo, Au и Ag были использованы базы данных по следующим исходной и разреженным сетям: 1) 100×100 м с детализацией 100×50 м — исходная сеть выполненных ОМГХР; 2) 100×100 м без детализации; 3) 200×200 м; 4) 400×200 м; 5) 400×400 м.

Сравнение моноэлементных карт, полученных с использованием этих разных сетей, показало, что на первом этапе крупномасштабных геохимических поисков по вторичным ореолам, нацеленных на выявление золото-молибден-медно-порфирового со спутниками оруденения в рассматриваемых геологических и ландшафтных условиях, целесообразно использовать рядовую сеть 200×200 м (или, возможно, 250×250 м применительно к масштабу 1:25 000). Сеть такой плотности и конфигурации позволяет уверенно выявлять АГХП рангов рудного месторождения и достаточно крупного рудного тела. Далее, при детальных геохимических поисках таких объектов целесообразно использовать сети 100×100, 100×50 и 50×50 м, что позволяет детализировать внутреннюю структуру рудогенных АГХП и выделять вторичные ореолы отдельных минерализованных зон и рудных тел. Следовательно, при геохимических поисках подобных рудных объектов в

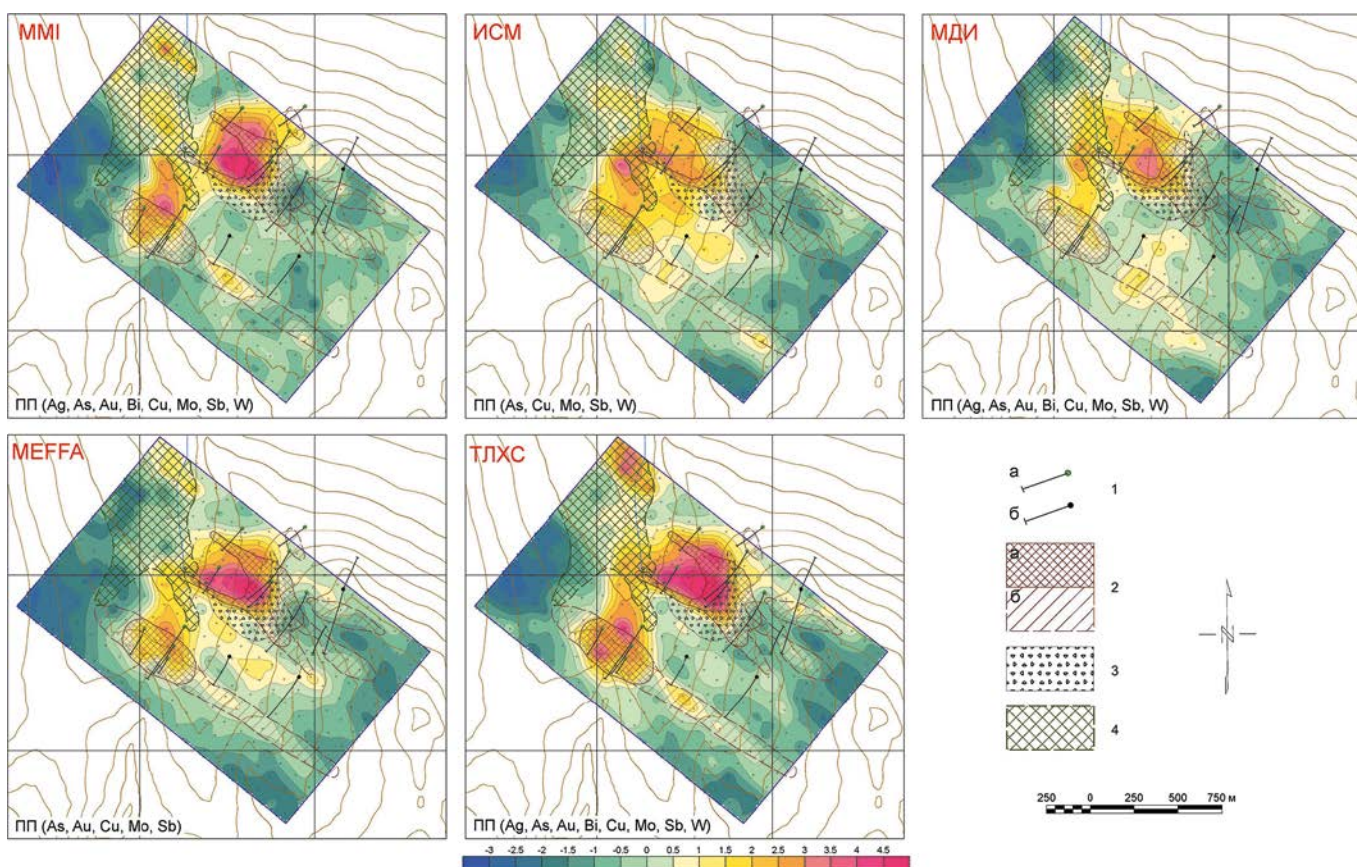


Рис. 5. Карты полиэлементных показателей по данным пяти методов. Условные обозначения см. на рис. 2

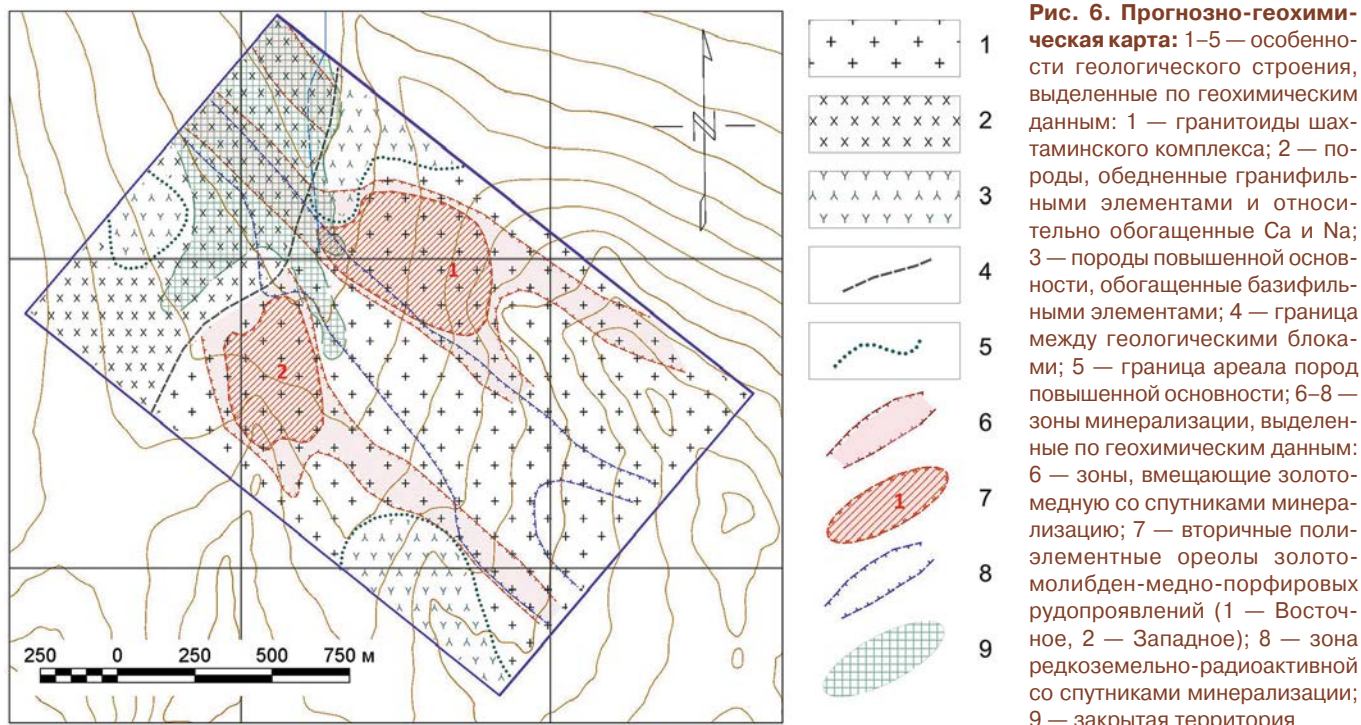


Таблица 3
Площади продуктивности вторичных ореолов Восточного и Западного рудопоявлений

Металл	Метод	Восточное проявление		Западное проявление	
		$P_i, \text{м}^2 \%$	$P_i/P_{\text{лгх}}$	$P_i, \text{м}^2 \%$	$P_i/P_{\text{лгх}}$
Cu	ММИ	158,3	0,034	32,9	0,028
	ИСМ	82,2	0,017	23,5	0,020
	МДИ	101,4	0,022	15,04	0,013
	МЕФФА	3 570	0,76	1 015	0,86
	ТЛХС	4 712	1	1 175	1
Mo	ММИ	0,586	0,0036	0,198	0,0030
	ИСМ	0,092	0,0006	0,076	0,0011
	МДИ	0,048	0,0003	0,035	0,0005
	МЕФФА	151,2	0,93	59,6	0,89
	ТЛХС	163,4	1	67,2	1
Au	ММИ	0,006	0,15	0,003	0,03
	ИСМ	—	—	—	—
	МДИ	0,000067	0,0017	0,0000005	0,000005
	МЕФФА	0,071	1,77	0,054	0,48
	ТЛХС	0,040	1	0,112	1
Ag	ММИ	0,829	0,180	0,384	0,230
	ИСМ	—	—	—	—
	МДИ	0,010	0,0022	0,003	0,0015
	МЕФФА	—	—	—	—
	ТЛХС	1,53	1	1,66	1

Примечание: P_i — площадная продуктивность аномалии, $P_i/P_{\text{лгх}}$ — отношение продуктивности аномалии, выявленной тем или иным i -м методом, к продуктивности аномалии, выявленной методом ТЛХС.

масштабах 1:25 000 — 1:10 000 — 1:5 000 нет необходимости использовать прямоугольные сети опробования с шагом по профилю, который в 10 или 4–5 раз меньше расстояния между профилями, что регламентируется «Инструкцией по геохимическим методам...» [4]. Предлагаемые разреженные сети позволят уменьшить стоимость полевых работ и направить высвободившиеся средства на использование более совершенных, но и более дорогостоящих прецизионных методов анализа проб.

Обсуждение результатов

Обсуждая полученные результаты в целом, следует отметить, что в условиях данного участка, преобладающая часть которого характеризуется сочетанием открытых и полужакрытых территорий с преимущественным развитием элювиально-делювиальных рыхлых отложений незначительной мощности, т.е. благоприятных условий для проведения литохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния, все четыре апробированных метода (ММИ, ИСМ, МДИ и МЕФФА) показали результаты, сходные с результатами стандартного метода литохимических поисков по вторичным ореолам (ТЛХС). Наиболее информативными в плане выделения зон минерализации оказались геохимические карты, построенные не по исходным, а по стандартизованным содержаниям элементов с учетом ландшафтных особенностей участка — с разделением площади работ на открытые-полужакрытые и закрытые территории, а совокупности геохимических данных — на две соответствующие выборки.

Апробированными методами, нацеленными в первую очередь на обнаружение наложенных сорбционно-солевых вторичных ореолов на закрытых территориях, в данных условиях были успешно выявлены остаточные сорбционно-солевые литохимические

ореолы рассеяния. Их образование связано не только с механическим разрушением коренных пород и руд при выветривании, но и с химическими преобразованиями обломочного материала в зоне гипергенеза. Именно комплексное физико-химическое выветривание вмещающих пород, околорудных метасоматитов и руд с окислением рудных минералов привело к образованию рыхлого покрова и остаточных ореолов рассеяния, которые являются комбинированными с точки зрения сочетания двух составляющих их состава: механической (обломочной) и физико-химической (сорбционно-солевой).

На результирующих геохимических картах отмечается небольшое, от десятков до первых сотен метров, растягивание и смещение вторичных ореолов, выявленных всеми пятью методами, от коренных источников по уклону рельефа преимущественно в северную сторону в направлении общего понижения высотных отметок. Тот факт, что это смещение фиксируется всеми методами свидетельствует о сочетании двух процессов формирования смещенной части вторичных ореолов: механического перемещения обломочного материала по уклону рельефа и гидроморфной растворенной миграции элементов с поверхностным и грунтовым стоком в том же направлении.

Наиболее контрастно выделились полиэлементные вторичные ореолы рассеяния Восточного и Западного рудопроявлений. Наблюдается продолжение аномальных полиэлементных зон, но более узких и слабее проявленных: от Западного рудопроявления на юго-восток, от Восточного — на юго-восток и северо-запад. На открытых возвышенных фрагментах площади контрастность аномалий по апробированным методам сопоставима с контрастностью аномалий ТЛХС, а на закрытых участках контрастность аномалий ММИ, МДИ, ИСМ, МЕФФА в ряде случаев превышает ее.

Природа аномалий, выявленных на закрытой территории на севере участка, остается дискуссионной, поскольку факт наличия либо отсутствия оруденения под рыхлым покровом в пределах этой территории до сих пор достоверно не установлен. С одной стороны, локальные аномалии на этой закрытой территории могут являться наложенными вторичными ореолами погребенных зон рудной минерализации, протягивающихся в северо-западном направлении. С другой стороны, они могут оказаться смещенными или оторванными вторичными ореолами оруденения, которое локализовано на расположенной юго-восточнее возвышенности. Такие смещенные или оторванные от коренного источника аномалии могли возникнуть как за счет механической миграции элементов в процессах формирования перемещенных пролювиальных и аллювиальных отложений, так и за счет латеральной растворенной миграции элементов в направлении депрессии рельефа с поверхностным и (или) грунтовым стоком. Особенно это относится к той части закрытой территории, которая непосредственно прилегает к расположенному юго-восточнее склону сопки, а на удалении от склона более вероятным представляется

наличие наложенного сорбционно-солевого вторичного ореола, источником которого является погребенная минерализованная зона. Так или иначе, окончательный ответ на вопрос о природе аномалий, выявленных на закрытой территории, может быть получен только по результатам бурения.

Благодаря использованию в ОМГХР многоэлементных методов анализа с определением не только рудных, но и породообразующих элементов удалось не только оконтурить зоны рудной минерализации, но и получить важную новую информацию о геологическом строении территории (рис. 6). Выделился северо-западный геологический блок, резко отличающийся по своему вещественному составу от блока преимущественно сложенного гранитоидами шахтаминского комплекса; по геохимическим данным оконтурены также ареалы развития пород повышенной основности.

Оценивая результаты ОМГХР в целом, можно сказать, что наилучшие результаты в данных условиях показали ТЛХС с прецизионным анализом на широкий круг элементов и метод ММИ, позволяющие уверенно выявлять вторичные ореолы рассеяния Cu, Mo, Au, Ag и других элементов — индикаторов золото-молибден-медно-порфирирового оруденения, а также выделять аномалии других элементов, по которым можно прогнозировать зоны иных типов минерализации и получать информацию о вещественном составе пород. При этом методом ММИ удалось выделить на закрытой территории дополнительные слабые аномалии золота и других рудных элементов, не обнаруженные ТЛХС.

Результаты метода МЕФФА сопоставимы с результатами ТЛХС по золоту и элементам, определявшимся с помощью ПРФА. При этом методом МЕФФА по тонкой фракции отложений зафиксированы дополнительные слабые аномалии золота, которые не проявились в результатах ТЛХС. Однако недостатком метода МЕФФА, в данном случае, оказалось отсутствие возможности определять с помощью ПРФА содержания ряда низкокларковых элементов, включая Ag. Дальнейшее развитие МЕФФА для расширения поисковых возможностей этого метода требует увеличения круга элементов, прежде всего низкокларковых, анализируемых методом LA-ICP-MS в тонкой фракции отложений (Ag, ЭПГ, Cd, Bi, In, Te, а также Cu, Ni, Co, Pb, Zn и др.). А ПРФА рекомендуется использовать в полевых условиях для экспрессного полуколичественного анализа литохимических проб и геологических образцов, так как пределы обнаружения современных анализаторов позволяют определять содержания многих элементов начиная с 5–10 г/т.

Результаты МДИ также оказались сопоставимы с результатами других методов, кроме результатов по золоту. В данном конкретном случае были выявлены невоспроизводимости результатов по золоту по результатам контроля и тот факт, что аномалии золота по МДИ не совпадают с аномалиями золота по другим методам и не соответствуют имеющимся геологическим данным. Таким образом, по результатам выполненных ОМГХР возможности МДИ при работах на золото с

его непосредственным определением в пробах вызывают сомнение и требуют проверки на других золото-содержащих объектах.

Результаты ИСМ тоже сопоставимы с результатами по другим методам, кроме результатов по золоту, а также серебру и висмуту, качество аналитических определений которых оказалось неудовлетворительным. Главный недостаток ИСМ — это отсутствие возможности определения золота, которое, как показывают результаты выполненных нами ОМГХР, практически не переходит из твердофазной навески пробы в раствор азотной кислоты. Можно сделать вывод, что азотнокислая экстракция элементов из проб рыхлых отложений является нецелесообразной при поисках золото-медно-порфировых и, тем более, собственно золоторудных месторождений.

Заключение

В результате выполненных ОМГХР впервые как в отечественной, так и в мировой практике получены параллельные оценки поисковой геохимической эффективности сразу четырех разных геохимических методов, предназначенных для повышения эффективности опознания территорий по наложенным сорбционно-солевым вторичным ореолам рассеяния: ММІ, ИСМ, МДИ и МЕФФА. В качестве метода сравнения по всему участку работ, а не по отдельным пробам или профилям, был применен метод литохимических поисков по вторичным ореолам с использованием, как и в вышеперечисленных методах современных прецизионных методов анализа проб. Получена сравнительная оценка поисковой эффективности использованных методов, которая однако относится к сравнительно простым ландшафтным условиям данного участка с преимущественным развитием местных элювиально-делювиальных отложений и, таким образом, с преобладанием относительно благоприятных условий проведения геохимических поисков по вторичным ореолам.

В целях дальнейшей разработки наиболее эффективного комплекса методов поисковых ГХР на разные типы оруденения представляется целесообразным выполнить следующий этап аналогичных по своей направленности и содержанию ОМГХР на участке или участках с более сложными ландшафтными условиями ведения поисковых работ и другими типами оруденения. Это должна быть преимущественно закрытая территория с развитием островной или сплошной многолетней мерзлоты и залеганием в верхней части разреза дальнепринесенных рыхлых отложений, перекрывающих зоны рудной минерализации и промышленные рудные тела, положение и характеристики которых установлены по результатам горно-буровых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев, И.В. Метод поиска геохимических аномалий золота и других благородных металлов на основе анализа тонкой фракции почвы с использованием LA (лазерной абляции) и ICP-MS (масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой) / И.В. Васильев // Золото и технологии. — 2017. — № 4(38). — С. 20–23.
2. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко и др. — СПб: ВСЕГЕИ, 2005. — 98 с.

3. Духанин, А.С. Опыт использования метода диффузионного извлечения для поисков глубокозалегающих месторождений / А.С. Духанин / Использование геоэлектрохимических методов при поисках и разведке рудных месторождений. — Л.: НПО «Рудгеофизика», 1989. — С. 99–109.
4. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. — М.: Недра, 1983. — 191 с.
5. Миляев, С.А. Ионно-сорбционный метод литохимических поисков скрытых полиметаллических месторождений: общие принципы, опыт применения / С.А. Миляев, С.Г. Кряжев, Ю.В. Виленкина // Руды и металлы. — 2017. — № 2. — С. 60–68.
6. Соколов, С.В. Оптимизация сети и плотности опробования при проведении площадных геохимических работ как фактор повышения надежности прогноза / С.В. Соколов, А.Г. Марченко // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 8. — С. 19–28.
7. Соловов, А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А.П. Соловов. — М.: Недра, 1985. — 294 с.
8. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, Ф.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
9. *Geological Survey of Canada Open File 6850 (revised). Till Sampling and Analytical Protocols for GEM Projects: from field to archive.* — Geological Survey of Canada, 2017. — 75 p.
10. Mann, A.W. Vertical ionic migration: mechanisms, soil anomalies, and sampling depth for mineral exploration / A.W. Mann, R.D. Birrell, M.A.F. Fedikow, H.A.F. Souza // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis.* — 2005. — Vol. 7. — P. 201–210.
11. Mann, A.W. Strong versus weak digestions: ligand-based soil extraction geochemistry / A.W. Mann // *Geochemistry: Exploration, Environment Analysis.* — 2010. — Vol. 10. — P. 17–26.

© Коллектив авторов, 2021

Марченко Алексей Григорьевич // a-marchenko@yandex.ru
Ильченко Вадим Олегович // ilchenkovo@nornik.ru
Никулина Анастасия Александровна // nikulinaaa@nornik.ru
Легких Ольга Александровна // legkikhhoa@vostgeo.ru

УДК 553.878:552.23 (470.5)

Ляшенко Е.А. (Роснедра)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯШМОВЫХ ТЕЛ В ПРОСТРАНСТВЕ И АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕКСТУРНЫХ ТИПОВ ЯШМ ЮЖНОГО УРАЛА

*Смотрю на горную породу,
На яшму — плод перерождения,
И вижу, словно глядя в воду,
В ней бурной жизни отраженья.*

*Рассмотрен вопрос распределения яшмовых тел в пространстве, показаны основные закономерности. Представлена авторская систематика единиц иерархического ряда районирования яшмовых объектов. Выполнена группировка яшмовых тел на уровне их текстурной составляющей. Показано взаимоотношение яшм с сопутствующими, генетически родственными полезными ископаемыми. Проанализирован материал по химическому составу яшм и яшмовидных пород. Определен средний химический состав классических яшм Урала. **Ключевые слова:** яшма, пояс, поле, месторождение, текстура, химический состав, кремнезем, разлом, туффыты.*