

На правах рукописи

ТАРАСОВА Юлия Игоревна

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА, СЕРЕБРА
И СОПУТСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОТОКАХ РАССЕЯНИЯ ЗОЛОТО-
СЕРЕБРЯНЫХ ЗОН ДУКАТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)**

Специальность 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Иркутск – 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: **Кравцова Раиса Григорьевна**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии рудообразования и геохимических методов поиска Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Официальные оппоненты: **Калинин Юрий Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией прогнозно-металлогенических исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск)

Филиппова Людмила Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых Федерального государственного бюджетного учреждения образования Иркутского национального исследовательского технического университета

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН

Защита диссертации состоится «20» мая 2015 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, по адресу: 664033, а/я 304, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте (<http://www.igc.irk.ru>) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Автореферат разослан «_____» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.г.-м.н.



Королева Г.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При проведении разномасштабных литохимических съемок по потокам рассеяния на территории Северо-Востока России, где формирование рыхлых отложений водотоков происходит в условиях криогенеза, установлено, что ряд геохимических аномалий в зонах непромышленной рудной минерализации по контрастности и элементному составу мало отличимы от аномалий, связанных с промышленными Au-Ag рудами. Кроме того, выявленные по литохимическим потокам рассеяния (ЛПР) экзогенные аномальные геохимические поля (АГХП), по сравнению с эндогенными полями, имеют относительно общий характер развития, довольно бедный компонентный состав и низкую контрастность, что в значительной степени затрудняет их интерпретацию и оценку.

Все это объясняется сложным полихронным характером развития руд и ореолов, местными ландшафтно-геохимическими условиями, типичными для зон криолитогенеза, неблагоприятным положением рудных тел и недостаточным уровнем их денудации, обусловленным низкой степенью разветвленности гидросети.

Следовательно, для повышения эффективности съемок по потокам рассеяния и оценки рудно-формационной и промышленной значимости экзогенных аномалий, выявленных по ЛПР, необходимым является детальное изучение вещественного состава рыхлых отложений водотоков I-II порядков, дренирующих рудные зоны. Основное внимание необходимо уделить изучению особенностей распределения и форм нахождения (ФН) Au, Ag и сопутствующих элементов-индикаторов оруденения. На примере рудных зон Дукатского месторождения, представленных эпитеpmальной Au-Ag минерализацией (участок Чайка) проведено изучение ФН типоморфных для руд вулканогенной Au-Ag формации элементов – Au, Ag, Hg, Sb, As, Cu, Zn, Pb. Приводятся данные по содержанию и ФН элементов (Mo, W, Sn, Mn, Bi), в основном, связанных с процессами выветривания вмещающих пород и участками более ранней минерализации, образующих аномалии, с Au-Ag рудами не связанные.

Цель и задачи работы. Главная цель работы – изучение особенностей распределения и ФН рудных элементов в рыхлых отложениях ЛПР для выявления эффективных критериев поисков и оценки Au-Ag минерализации. Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи: изучение особенностей распределения и уровней концентрирования Au, Ag и сопутствующих элементов-индикаторов оруденения (Hg, Sb, As, Cu, Pb, Zn) в ЛПР, сформированных водотоками I-II порядка, дренирующих золото-серебряные рудные зоны; выявление особенностей распределения рудных элементов; изучение ФН Au, Ag и сопутствующих элементов-индикаторов оруденения в рыхлых отложениях потоков рассеяния Au-Ag зон; сравнительный анализ вещественного состава аллювия и первичных руд; изучение факторов, определяющих формирование ЛПР Au-Ag, а также оценки роли химических факторов, в первую очередь хемосорбции.

Объекты исследования. Детальные работы по изучению особенностей распределения и ФН элементов-индикаторов оруденения в рыхлых отложениях ЛПР проводились на участке Чайка Дукатского Au-Ag месторождения, где наиболее хорошо сохранились «первичные» Au-Ag руды. Это позволило выбрать участок Чайка в качестве эталонного объекта для изучения потоков рассеяния, связанных с типичной вулканогенной Au-Ag минерализацией, характерной для эпитеpmальной Au-Ag формации руд.

Фактический материал и личный вклад. В работе использован материал комплексных научно-методических работ по исследованию рудной минерализации Дукатского месторождения, проводившихся в соответствии с тематическими планами НИР ИГХ СО РАН (г. Иркутск). Также были изучены и учтены результаты ранее проводившихся площадных геохимических съемок по ЛПР 1:200000 м-ба и 1:50000 м-ба (ЦНИГРИ, г. Москва и ИГХ СО РАН, г. Иркутск).

Начиная с 2008 года, автор работы принимал участие в полевых и камеральных исследованиях на различных золоторудных объектах Магаданской области, в том числе на месторождении Дукат. Лично автором был выполнен большой объем детальных минералогеохимических исследований по изучению вещественного состава ЛПР Au-Ag зон

Дукатского месторождения. Изучены закономерности распределения элементов-индикаторов оруденения и их ФН в аллювиальных отложениях водотоков I-II порядков, дренирующих Au-Ag зоны. Проведено сопоставление количественных и качественных характеристик состава Au-Ag руд месторождения с составом ЛППР.

Научная новизна. Выявлены закономерности распределения главных (Au и Ag) и всех основных типоморфных элементов-индикаторов Au-Ag оруденения (Hg, Sb, As, Cu, Zn, Pb) в рыхлых отложениях водотоков I-II порядков, дренирующих Au-Ag рудные зоны месторождения Дукат.

Впервые для данного месторождения изучены ФН элементов-индикаторов в пределах аномалий, выявленных по потокам рассеяния, выполнена комплексная оценка ФН элементов-индикаторов Au-Ag оруденения и их распределения по мере продвижения потока.

Сравнительный анализ вещественного состава аллювия и «первичных» Au-Ag руд показал, что в зонах криолитогенеза, где факторы физического выветривания обычно считаются основными, существенная роль при формировании ЛППР принадлежит также химическим факторам, в первую очередь хемосорбции.

Практическая значимость. Проведенные комплексные исследования позволили утверждать, что ФН элементов-индикаторов (минеральные и неминеральные) в образцах, отобранных из рыхлых отложений водотоков, дренирующих рудные жилы и зоны, по крайней мере, в головной части потока, в достаточной степени идентифицируются с ФН этих элементов в первичных рудах.

Показано, что при оценке перспектив аномалий, выявленных по ЛППР, эффективным является детальное опробование водотоков I-II порядков с отбором (там, где позволяет имеющийся материал) большеобъемных минералого-геохимических проб с целью изучения вещественного состава рыхлых отложений водотоков, дренирующих зоны и участки минерализации.

Установлено, что ФН элементов-индикаторов оруденения в ЛППР могут быть использованы в качестве основного показателя рудно-формационной принадлежности выявленных аномалий, а в ряде случаев и как показатель оценки уровня эрозионного среза рудных зон и участков. Они могут успешно применяться на всех стадиях геохимического изучения Au-Ag площадей, начиная с прогнозной оценки, до более детальных работ на конкретных, хорошо изученных территориях.

Публикации и апробация работы. Результаты исследований представлены в 11 научных работах (4 статьи в рецензируемых журналах, 5 статей в рецензируемых сборниках, 2 – в тезисах конференций и совещаний). Материалы диссертации доложены автором в устных докладах на всероссийских и международных конференциях (Новосибирск, 2008; Магадан, 2008, 2011; Миасс, 2009, 2013; Москва, 2010; Санкт-Петербург, 2011).

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация общим объемом 205 страниц, включает 49 иллюстраций, 44 таблицы и список литературы, содержащий 195 наименований. В главе 1 даются общие сведения по истории исследований, краткие сведения о районе работ, геолого-геохимическое описание объекта изучения, а также методы проведения исследований. Главы диссертации 2, 3 и 4 являются обоснованием первого, второго и третьего защищаемых положений, соответственно. В заключении дается более широкая трактовка защищаемых положений, приводится развернутая их аргументация, делаются выводы и оценки на перспективу.

Благодарности. Работа выполнена в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск). Автор искренне признателен и благодарит всех сотрудников Института, принимавших участие в проведении исследований, в обработке полученных данных и в их обсуждении: В.Л. Таусона, Л.А. Павлову, А.М. Спиридонову, А.С. Макшакова, Г.А. Белоголову, В.А. Бычинского, Г.П. Королеву. Автор благодарен сотрудникам научно-исследовательских и производственных геологических организаций г. Магадана: Н.А. Горячеву, А.А. Пляшкевич, Н.Е. Савве, Б.И. Ишкову, В.И. Зайцеву, за помощь в проведении полевых работ, сборе материалов, консультациях и передаче опыта.

Огромную благодарность хотелось бы выразить моему научному руководителю, доктору геол.-мин. наук Раисе Григорьевне Кравцовой, совместная работа с которой, постоянные консультации и всесторонняя помощь были неоценимы при выполнении исследований и написании диссертации.

Диссертационная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-05-00361) и СО РАН (интеграционный проект № 48).

ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структурно-геологические особенности. В структурном отношении месторождение располагается в Охотском секторе внешней зоны Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП) и приурочено к Балыгычано-Сугойскому прогибу (рис. 1). Внешняя зона пояса является самой значительной по размерам и самой протяженной, более 2000 км. Наиболее значимая рудная минерализация здесь представлена рудами Au-Ag, Ag-Pb и Sn-Ag формаций. Для Охотского сектора типичным является еще и Sn-Q оруденение, реже встречается Sn-W и Mo-W. Дукатское Au-Ag месторождение, в пределах которого были проведены исследования, располагается в центральной части Омсукчанского рудного района. Пространственно он совмещен с главной рудоносной структурой Охотского сектора ОЧВП – Балыгычано-Сугойским окраинным прогибом (Политов, 1972; Кузнецов, Ливач, 2005).

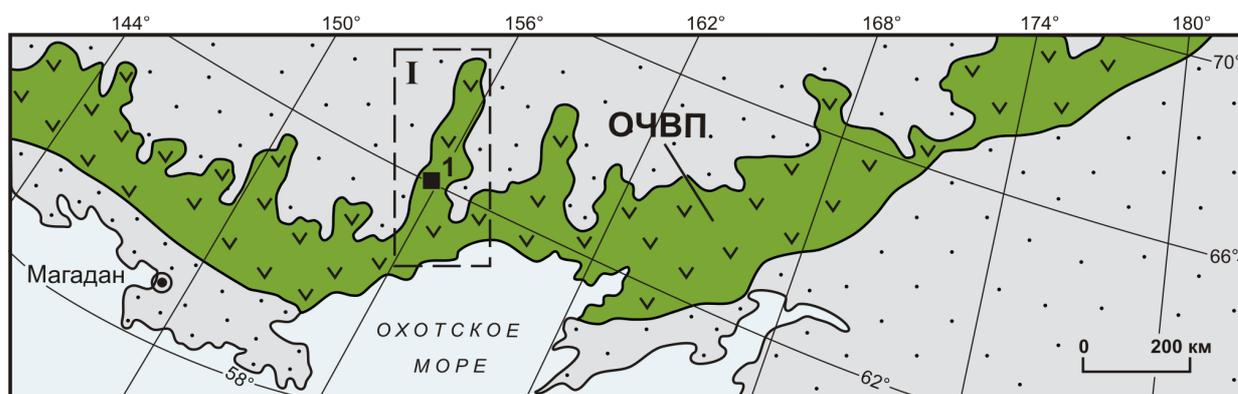


Рис. 1. Внешняя зона Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Омсукчанский рудный район – Балыгычано-Сугойский прогиб (I). Au-Ag месторождение Дукат (1).

Месторождение Дукат имеет сложную и длительную историю развития. Оно приурочено к интрузивно-купольному поднятию, которое образовалось в результате внедрения в толщу нижнемеловых вулканитов крупного верхнемелового гранитоидного массива. Окончательный облик руд сформировался в результате широко проявленных здесь процессов реювенации «первичного» Au-Ag оруденения, происходивших под влиянием не выходящей на поверхность Дукатской гранитоидной интрузии (Берман и др., 1993). Предполагается, что «первичные» Au-Ag руды раннего вулканогенного этапа сформировались под воздействием глубинного флюида. Наиболее вероятным его источником и первоисточником металлов, в первую очередь Au и Ag, явился длительно существовавший на глубине примерно 4-6 км от поверхности промежуточный очаг андезитовой магмы, производной от мантийного базальтового расплава (Захаров и др., 2002; Кравцова и др., 2003; Кравцова, 2010).

Для преобладающей части рудоносных зон Дукатского Au-Ag месторождения типичен полиформационный и полистадийный характер развития. Реювенированные Au-Ag руды имеют преимущественно серебряный состав, но содержания Au в них достаточно высоки – до десятков г/т. Собственно вулканогенные Au-Ag руды выявлены лишь на отдельных участках месторождения (Смелый, Звездный, Чайка).

Минералого-геохимический состав пород и руд. Дукатское рудное поле имеет сложное блоковое строение, определяемое многочисленными разломами различного направления, морфологии и возраста. Главным структурно-морфологическим типом рудных тел

являются минерализованные зоны. Жильные рудные тела являются вторым структурно-морфологическим типом, содержащим значительные рудные запасы. Руды представлены несколькими типами: преимущественно Ag – кварц-пирролюзитовые, кварц-родонитовые жилы; Au-Ag – кварц-родонит-полевошпатовые, кварц-полевошпатовые, кварц-полевошпат-сульфидные жилы; Ag-Pb – кварц-родонит-сульфидные, кварц-родонит-хлорит-сульфидные жилы и Sn-Ag – кварц-хлорит-сульфидные жилы. Для преобладающей части рудоносных зон характерен полиформационный и полистадийный характер развития рудной минерализации.

Наиболее широко типичная Au-Ag минерализация проявлена только в северо-восточной части месторождения, на площади уч. Чайка. К числу важнейших серебросодержащих минералов здесь относятся аргентит-акантит, самородное серебро, кюстелит, пираргирит. В меньшей степени, распространены такие минералы серебра как штернбергит, прустит, полибазит, стефанит. Самородное золото представлено тонкодисперсной формой и более значительными по размерам золотинами, в основном, электрумом и кюстелитом. По данным рационального анализа собственно Au-Ag руд, на долю тонкодисперсного Au в общем балансе приходится до 60 %, на долю электрума до 40 %. Незначительное количество Au (1-5%) связано с сульфидами. Из других, наиболее распространенными рудными минералами являются галенит и сфалерит. Реже встречаются пирит, пирротин, халькопирит, магнетит.

В зонах гипергенеза месторождения, в том числе участка Чайка, из первичных минералов серебра, в виде реликтов, постоянно отмечаются самородное Ag, электрум, разрушенные зерна акантита, пираргирита, штернбергита. Часто встречаются частично сохранившиеся зерна и обломки галенита, сфалерита, пирита, пирротина, халькопирита, магнетита. Преобладающим развитием пользуются гипергенные минералы, такие как оксиды и гидроксиды Fe и Mn, ярозит, англезит, церуссит, смитсонит, халькозин, ковеллин, реже встречаются самородные S и Cu и водорастворимые сульфаты Cu, Fe и Zn (Сидоров и др., 1989; Двуреченская, 2001)

Методика исследования. Для изучения поведения рудных элементов, в первую очередь Au и Ag, и их ФН в рыхлых отложениях ЛПР Дукатского Au-Ag месторождения было выполнено геохимическое опробование водотоков I-II порядка, дренирующих водораздел с промышленными зонами и жилами (рис. 2).

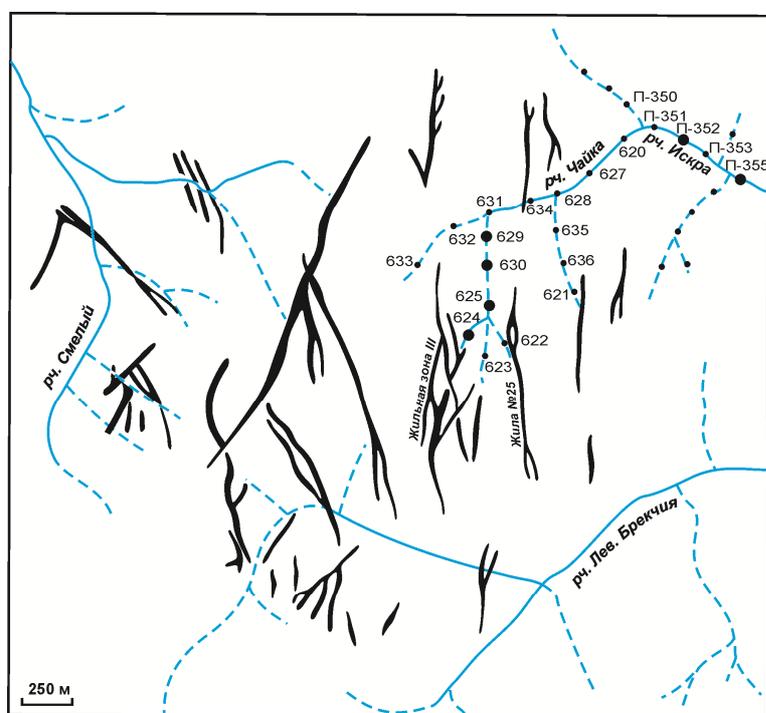


Рис. 2. Схема геохимического опробования водотоков I-II порядка. Съёмка 1:50000 м-ба по ЛПР на площади Дукатского Au-Ag месторождения. 1 – рудные тела; 2 – водотоки: а – постоянные, б – временные; 3-4 – точки отбора: 3 – рядовые геохимические пробы, 4 – большеобъемные минералого-геохимические пробы.



Геохимическая съёмка масштаба 1:50000 по литохимическим потокам рассеяния, отбор и обработка проб проводились по общепринятой методике (Справочник по геохимическим поискам..., 1990). Для более детального изучения вещественного состава аллювия по рч. Чайка

и рч. Искра было отобрано 9 большеобъемных проб весом до 6 кг. Для проведения минералогических и микроминералогических исследований из этих фракций были изготовлены монтированные аншлифы. С помощью рудного микроскопа, прежде всего, были изучены устойчивые в зонах гипергенеза минералы. Дальнейшее изучение минерального и элементного составов аллювия было продолжено при помощи микронзондовых исследований.

Методы анализа. Аналитические исследования были выполнены в лабораториях ИГХ СО РАН (г. Иркутск). Все пробы прошли спектральный приближенно-количественный атомно-эмиссионный анализ на широкий круг элементов (Эмиссионный спектральный..., 1976). Позднее контроль полученных результатов, осуществлялся методами прямого полуколичественного атомно-эмиссионного спектрального анализа по способу вдувания-просыпки (Васильева и др., 1997; Васильева, Шабанова, 2005; СТП ИГХ-020-2007..., 2007). Большеобъемные пробы анализировались методом количественного атомно-эмиссионного спектрального анализа путем полного испарения материала из канала угольного электрода (Васильева, Шабанова, 2005).

Валовые содержания Au и Ag, распределения их частиц по крупности определялись дуговым сцинтилляционным атомно-эмиссионным анализом (Прокопчук, 1994). Кроме того, валовые содержания Au определялись атомно-абсорбционным методом, включая методику с предварительной экстракцией сульфидами нефти и методом атомно-абсорбционной спектрометрии (Хлебникова, 1976; Торгов, Хлебникова, 1977). Hg анализировалась атомно-абсорбционным методом с применением кислотного разложения (Новиков и др., 1971). Диагностика форм нахождения Hg проводилась при совмещении атомно-абсорбционной спектрометрии с термическим анализом (Tauson, Gelety, Men'shikov, 1996). Применялись методы количественного спектрального анализа на «группу цветных элементов» и элементы «группы железа» (Эмиссионный спектральный..., 1976). W определялся количественным атомно-эмиссионным методом (Чумакова, 2009). Для количественного определения Ag, As, Sb, Bi использовалась методика прямого атомно-абсорбционного определения (Воробьева и др., 1987). Щелочные элементы определялись методом фотометрии пламени (Полужетов, 1959). Методом рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (Павлова, Парадина, 1990; Павлова, Кравцова, 2006) определялся состав микровключений.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

Первое защищаемое положение

Закономерности распределения и уровни содержания Au, Ag и сопутствующих элементов (Hg, Sb, As, Cu, Pb, Zn) в рыхлых отложениях водотоков I-II порядков, дренирующих Au-Ag зоны Дукатского месторождения, отчетливо отражают геохимические особенности руд эпитермальной Au-Ag формации и наиболее проявлены в качественном и количественном составе головной части потока.

Для изучения распределения элементов, как на протяжении потока, так и во фракциях, было проведено сопоставление содержания элементов в геохимических пробах, отобранных из рыхлых отложений рч. Чайка-Искра, в 9 большеобъемных минералого-геохимических пробах, взятых из тех же мест, что и одноименные геохимические пробы. Следует подчеркнуть, что рудные Au-Ag зоны непосредственно размываются водотоками I-II порядка, и не редко в вершинах ручьев выходят в виде обнажений.

Золото и серебро являются главными элементами-индикаторами золото-серебряного оруденения. Аномальные концентрации Au и Ag в рудах достигают промышленных концентраций и образуют широкие и контрастные эндогенные АГХП, выявляемые при опробовании ЛПП.

Золото. При изучении поведения Au в рыхлых аллювиальных отложениях ручьев I-II порядка было установлено, что наибольшие концентрации золота достаточно устойчиво проявлены в головной части водотоков I порядка, непосредственно размывающих Au-Ag рудные зоны Дукатского месторождения. При впадении этих ручьев в более крупные водотоки II порядка происходит заметное разубоживание материала потока, а по мере продвижения потока наблюдается снижение концентраций Au. Так если в пробе 624, отобранной в головной части

потока содержания Au достигают 0.14 г/т, то в шлейфовой отмечаются содержания этого элемента ниже предела обнаружения метода (<0.01 г/т).

Еще более высокие концентрации Au на всем протяжении потока установлены при изучении большеобъемных минералого-геохимических проб, что в свою очередь повышает процент и контрастность открываемых АГХП. Так в пробе 624-ПР полученное содержание Au составило 5.0 г/т.

Наибольшие содержания Au были обнаружены во фракции -0.25 мм, наименьшие – во фракции -2 ÷ +1 мм. В целом, та же самая закономерность в этих пробах была установлена и по отношению к рудным минералам. Приуроченность высоких содержаний рудных элементов к мелкой фракции вероятнее всего объясняется широким развитием здесь глинистых минералов и гидроксидов Fe и Mn.

Таким образом, очевидно, что АГХП, выявленные при изучении большеобъемных проб более яркие и показательные по сравнению АГХП, установленными по рядовым провам. Кроме того, учитывая слабо сформированные аллювиальные отложения водотоков I порядка, отобрать достаточное количество материала на протяжении всего потока не всегда представляется возможным, особенно это характерно для наиболее представительной части потока – головной части. В таких случаях, отсутствие мелкой фракции может быть «компенсировано» отбором большеобъемных минералого-геохимических проб.

Серебро широко проявлено в рыхлых отложениях на всей изучаемой территории. В результате съемки по ЛПР наиболее высокие концентрации Ag, до 20 г/т, были установлены в рядовых геохимических пробах, взятых из рыхлых отложений водотоков I порядка, дренирующих водораздел с промышленными зонами и жилами месторождения, т.е. говоря о распределении содержаний Ag по потоку можно сделать вывод, что для него, также как и для Au, характерно разубоживание в направлении головная часть-шлейф. Так если в верховье ручья содержания серебра Ag достигают 15-20 г/т, то к шлейфовой снижаются до 2-6 г/т.

В большеобъемных пробах содержания Ag увеличиваются, также, как и для большинства сопутствующих элементов-индикаторов Au-Ag оруденения. Аналогично Au происходит и распределение Ag во фракциях, максимальные содержания Ag также установлены во фракции -0.25 мм, минимальные в - + 2 мм.

В целом содержания Ag на исследуемом участке значительно выше, чем это свойственно для вулканогенных Au-Ag руд. Вероятнее всего в данном случае сказывается наложение Ag-полиметаллической минерализации.

Как было сказано выше – Hg, Sb, As, Cu, Pb и Zn, наряду с главными – Au и Ag, являются основными типоморфными элементами-индикаторами золото-серебряного оруденения. При изучении особенностей распределения и уровней концентрирования элементов в аллювиальных отложениях, сформированных водотоками I-II порядка, дренирующих золото-серебряные зоны месторождения, также были установлены аномальные концентрации всех этих элементов. Hg, Sb, As, Cu, Pb и Zn, также как в вулканогенных золото-серебряных рудах и связанных с ними эндогенных АГХП, в ЛПР являются основными сопутствующими Au и Ag элементами-индикаторами, т.е. основной состав ЛПР в целом идентичен составу вулканогенных золото-серебряных руд. Рассмотрим особенности распределения элементов-индикаторов Au-Ag оруденения на примере Hg.

Для **ртути**, также, как и для главных и ряда сопутствующих элементов-индикаторов оруденения, характерна та же тенденция, хотя и менее отчетливая: наиболее высокие концентрации были установлены в аллювиальных отложениях головной части потока (до 0.165 г/т), в то же время, достаточно высокие содержания Hg (до 0.110 г/т) устойчиво проявлены и в шлейфе потока. Повышенные содержания Hg, как и для остальных элементов, установлены в мелкой фракции. Если в крупной фракции концентрация Hg ниже предела обнаружения метода, то во фракции -0.25 мм может достигать 16 г/т.

Особенности распределения Hg в ЛПР (низкие содержания по сравнению с рудами, значительная протяженность, существенное преобладание сорбционной составляющей) вероятнее всего можно объяснить неустойчивостью соединений Hg в гипергенных условиях и

относительно широко проявленными здесь процессами хемосорбции. Аналогично формированию ЛПП таких элементов, как Au и Ag, ранее было доказано, что вопреки традиционной точке зрения, о том, что основную роль при формировании ЛПП в условиях зон криолитогенеза играет физическое выветривание, здесь широко проявлены и процессы хемосорбции (Кравцова и др., 2010).

В ЛПП уч. Чайка были установлены «чужеродные» сопутствующие элементы Mo, W, Sn, Mn, Bi, в основном, не относящиеся к Au-Ag минерализации, а связанные с процессами выветривания вмещающих пород и участками более поздней минерализации, образующими аномалии, зачастую с Au-Ag рудами не связанные. Рассмотрим их поведение в ЛПП Дукатского месторождения на примере Mo.

Для **молибдена** в аллювиальных отложениях ручьев, дренирующих водораздел с промышленными зонами и жилами, в распределении по потоку наблюдается закономерность, обратная той, что была выявлена для большинства элементов-индикаторов. Установлено, что в головной части потока содержания Mo в среднем составляют около 3 г/т, в шлейфе же они возрастают до 9 г/т со средним содержанием около 5.5 г/т. В большеобъемных пробах содержания очень близки между собой – около 4 г/т как в головной части потока, так и в шлейфовой. Значительных изменений уровня концентраций Mo по потоку не установлено и в большеобъемных пробах в пределах одной фракции, так, например, во фракции -1.0 ÷ +0.25 мм содержания Mo на протяжении всего потока в среднем составляют примерно 4 г/т. Во фракциях же, наблюдается общая для большинства элементов-индикаторов оруденения закономерность – в крупной фракции содержания ниже, в мелкой же возрастают, но не значительно.

Естественно, что по мере отдаления от Au-Ag рудных тел, проявляются и другие типы минерализации: ниже по потоку могут размываться выходы Sn-редкометалльной минерализации. Вероятнее всего, именно этим и объясняется такое изменение содержания Mo в аллювиальных отложениях ручьев Чайка и Искра.

При изучении распределения уровней концентрирования Au, Ag и сопутствующих элементов-индикаторов оруденения (Hg, Sb, As, Cu, Pb, Zn) в литохимических потоках рассеяния, сформированных водотоками I-II порядка, дренирующих рудные зоны Дукатского месторождения, было установлено, что в целом они идентичны составу первичных вулканогенных Au-Ag руд. Наиболее отчетливо это видно в головной части потока, далее по мере продвижения потока аллювиальный материал разубоживается, что приводит к общему снижению содержания. Эта тенденция свойственна для всех главных и сопутствующих элементов-индикаторов. Выделяется ряд элементов (Bi, W, As) для которых не характерно изменение содержания при продвижении от головной части потока к шлейфовой.

Отдельно следует отметить элементы, не связанные Au-Ag минерализацией – Sn и Mo, содержания которых увеличиваются по мере отдаления от головной части потока. Вероятно, это связано с привносом материала из размываемых зон Sn-редкометалльной минерализации, встречающихся ниже по потоку.

Аллювиальные отложения верховьев водотоков характеризуются наибольшими концентрациями элементов, в первую очередь Au. Следовательно, на практике значительно увеличивается количество выявленных аномалий, а повышенные концентрации элементов в русловых отложениях более полно отражают формационный тип имеющейся здесь рудной минерализации.

В большинстве случаев в условиях зон криолитогенеза при проведении литохимических съемок по потокам рассеяния сталкиваются с тем, что ряд геохимических аномалий в зонах непромышленной рудной минерализации по контрастности и элементному составу мало отличим от аномалий, связанных с Au-Ag и Ag рудами.

При изучении большеобъемных проб установлено, что наиболее высокие содержания большинства элементов-индикаторов Au-Ag оруденения, в том числе и содержания Au и Ag в аллювиальных отложениях, приурочены к мелкой фракции -0.25 мм, наименьшие – к крупной фракции +2 мм. Кроме того, максимальные содержания элементов-индикаторов установлены именно в большеобъемных пробах. Следовательно, при отборе большеобъемных минералого-

геохимических проб, повышается контрастность выявленных аномалий, ярче проявлена рудно-формационная принадлежность АГХП и увеличивается их количество.

Особенную актуальность этот факт приобретает по отношению к водотокам I-II порядков, характеризующихся слабым фрагментарным развитием рыхлых аллювиальных отложений, что в свою очередь значительно усложняет отбор рядовых геохимических проб по схеме отбора через 200-250 м.

Таким образом, неблагоприятное положение рудных тел, недостаточный уровень их денудационного среза, фрагментарное развитие рыхлых отложений в водотоках I-II порядков, плохо сформированные аллювиальные отложения, влияние склоновых процессов и, следовательно, появление чужеродных для этого типа минерализации элементов, нарушение количественных закономерностей между ними, – все это приводит к появлению размытой картины в составе аномальных геохимических полей, выявленных по потокам рассеяния.

Все сказанное усложняет определение рудно-формационной принадлежности аномалий, затрудняет оценку уровня эрозионного среза площадей и зон, и как следствие, промышленной значимости таких аномалий. Следовательно, для оценки таких аномалий необходимы дополнительные критерии.

Опыт изучения ореолов и руд на Au-Ag объектах показал, что эффективным критерием для оценки эндогенных аномалий, являются формы нахождения элементов. Дальнейшие исследования показали, что то же самое, в полной мере, относится и к экзогенным аномалиям, выявленным по потокам рассеяния.

Второе защищаемое положение

ФН Au, Ag и сопутствующих элементов в ЛПР Au-Ag зон Дукатского месторождения теснейшим образом связаны с особенностями состава руд. Как и в рудах, главными являются тонкодисперсное самородное Au, электрум, «связанное» Au (сорбционная форма и производные от нее), самородное Ag, его интерметаллические соединения (электрум, кюстелит), сульфиды (акантит, штернбергит) и сульфосоли (пираргирит).

Проведенные исследования вещественного состава руд и эндогенных геохимических полей эпitherмальных Au-Ag месторождений Северного Приохотья показали, что в качестве одного из дополнительных критериев оценки рудно-формационной принадлежности аномалий и их промышленной значимости эффективно использовать ФН Au и Ag, как главных элементов-индикаторов оруденения (Берман, 1986; Кравцова, Андрулайтис, 1989, 1991; Кравцова, Соломонова, 1984, Кравцова, 2000), а также и ФН сопутствующих элементов. В отношении аномалий, выявленных по потокам рассеяния, такая работа начата впервые на примере «первичных» вулканогенных руд Дукатского Au-Ag месторождения, участок Чайка.

Золото на рассматриваемой площади образует достаточно ограниченные по масштабам АГХП низкой контрастности. По мере продвижения материала вдоль ручья происходит разубоживание материала потока, максимальное содержание установлено в головной части потока. При сопоставлении концентраций золота в валовых пробах и в разных гранулометрических фракциях двумя аналитическими методами – атомно-абсорбционным (АА) и сцинтилляционным (СА) установлено, что в русловых отложениях головной части потока в аллювиальных отложениях, находящихся в 60-80 м от источника рудного вещества – рудной жилы или минерализованной зоны, на долю видимого Au приходится от 68 % до 100 %. Это значения, близкие аналогичным в рудах. По мере транспортировки материала по водотоку наблюдается общее разубоживание материала потока. В шлейфе потока, на фоне снижения концентраций Au, несмотря на крайне неравномерное распределение, прослеживается отчетливая тенденция увеличения доли тонкодисперсного Au (до 96%), в том числе и его коллоидно-дисперсной составляющей. То же самое можно сказать и о так называемой «связанной» форме. Очевидно, что эти две формы Au, легко выщелачиваемые обычными кислотами, в ЛПР, по сравнению с рудами, преобладают.

Как было описано ранее, в тонкой фракции концентрация элементов-индикаторов в общем возрастает, в том числе это характерно и для тонкодисперсного Au. В результате сопоставления содержаний «видимого» и «тонкодисперсного» Au в разных

гранулометрических фракциях было установлено, что в материале тонких классов происходит увеличение доли «невидимого» золота, что так же объясняется преобладанием здесь глинистых минералов и гидроксидов Fe и Mn, обладающих высокой сорбционной активностью.

С помощью рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа обнаружены собственные минеральные формы золота. Установлено, что найденные образования представлены электрумом. Размер самого крупного зерна – 55 мкм (рис. 3). Оно достаточно однородно и имеет низкую пробность (330-480), что характерно для вулканогенных Au-Ag руд. Выделяется небольшой участок (т. 1 и 2 на рис. 3) с повышенными содержаниями Au (600-660) и относительно низкими содержаниями Ag.

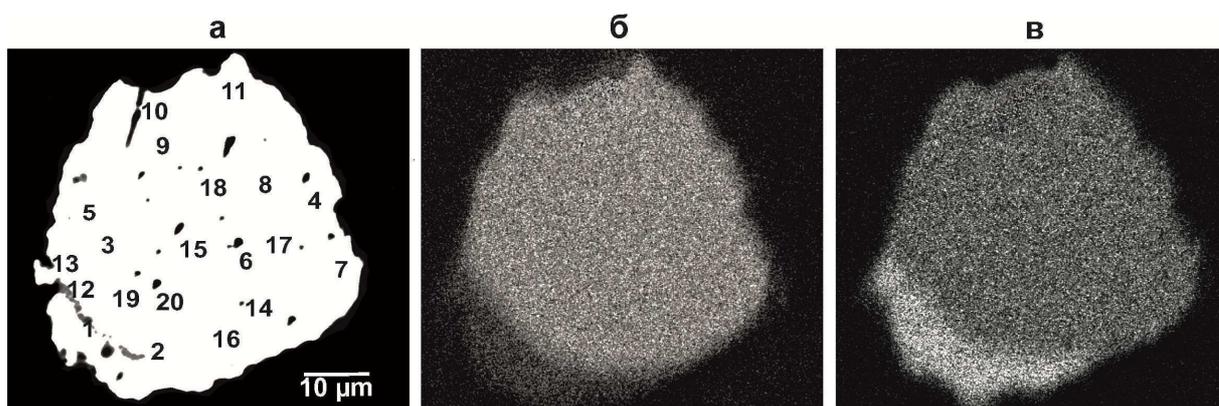


Рис. 3. Зерно электрума. Изображение в обратно рассеянных электронах (а), изображения в рентгеновских лучах (б, в) – Ag L α (б) и Au L α (в). На рис. 3 а: 1-20 – точки определения элементного состава минерала (см. табл. 1). Изображения выполнены на микроанализаторе JСХА-733 (JEOL Ltd, Tokyo, Japan).

Табл. 1. Элементный состав зерна электрума из рыхлых отложений ЛПР золото-серебряных зон Дукатского месторождения, мас. %.

n	Au	Ag	S	Fe	Cu	Zn	As	Si	Sb	Mn	Pb	Сумма
1	60.53	17.94	0.12	<0.05	<0.07	0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	78.59
2	65.80	14.80	<0.08	<0.05	<0.07	<0.06	<0.12	<0.01	0.14	<0.01	<0.01	80.60
3	34.04	62.69	0.16	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	96.89
4	33.25	63.35	0.20	0.28	<0.07	<0.06	<0.14	0.04	<0.14	<0.01	0.63	97.75
5	36.96	66.17	0.12	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	0.38	103.63
6	38.50	68.02	0.22	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	0.04	<0.14	<0.01	<0.01	106.78
7	33.29	60.41	0.09	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	0.04	<0.14	<0.01	1.86	95.69
8	32.25	57.67	0.14	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	0.05	<0.14	0.01	1.91	92.03
9	35.90	55.06	0.11	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	0.18	<0.14	0.40	1.61	93.26
10	41.06	52.60	0.17	1.21	0.07	<0.06	<0.13	4.08	<0.14	0.26	<0.01	99.38
11	41.73	53.98	0.32	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	96.03
12	48.17	52.80	0.10	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	0.17	<0.01	101.24
13	48.18	54.83	0.10	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	0.17	<0.01	103.28
14	38.86	52.00	0.27	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	91.13
15	38.81	53.54	<0.08	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	92.35
16	40.63	54.14	0.11	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	2.45	<0.14	<0.01	0.10	97.43
17	39.08	54.95	0.24	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	94.27
18	39.81	56.03	<0.08	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	95.84
19	41.34	53.77	0.13	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	1.15	<0.14	<0.01	0.17	95.56
20	40.69	53.84	0.14	<0.05	<0.07	<0.06	<0.13	<0.01	<0.14	<0.01	<0.01	94.67

Примечание. Измерения интенсивностей излучения и расчеты концентраций выполнены на микроанализаторе JСХА-733 (JEOL Ltd, Токуо, Япония).

Мелких золотинок было встречено значительно больше. Например, одно из изученных зерен (около 15 мкм) также выдержано по составу и представлено электрумом (рис. 4). В зоне окисления часто происходит увеличение пробыности золотинок. Так известны случаи образования высокопробных оболочек или участков на поверхности более низкопробных золотинок за счет выноса Ag. В качестве часто встречающейся примеси отмечена Hg. Кроме собственно минеральной формы, установлено микропримесное золото. Высокие концентрации невидимого Au были обнаружены на участках скопления оксидов и гидроксидов Fe, в разрушенных зернах сульфидов. Характер распределения Au в таких образованиях неоднородный.

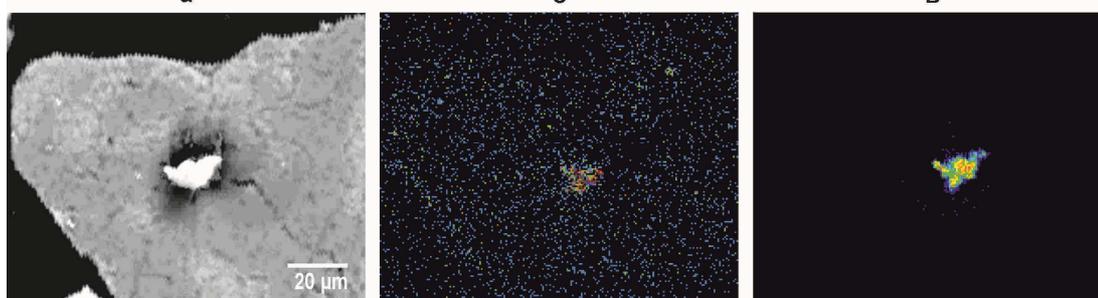


Рис. 4. Микровключение самородного золота в кварц-полевошпатовом агрегате из рыхлых отложений ЛПР золото-серебряных зон Дукатского месторождения. Изображение в обратно рассеянных электронах (а), изображения в рентгеновских лучах (б, в) – Au Lα (б), Ag Lα (в). Изображения выполнены на микроанализаторе JСХА-733 (JEOL Ltd, Tokyo, Japan).

Серебро. В зонах гипергенеза Дукатского месторождения в рыхлых элювиально-делювиальных отложениях из минералов Ag постоянно отмечаются самородное серебро, электрум, частично разрушенные зерна пираргирита и штернбергита, реже акантита.

Все серебряносодержащие образования условно были разделены на 2 группы:

1 – собственно серебряные минералы (акантит) наиболее поздние в ряду кристаллизации (после сульфидов), т.к. они уже включают в себя зерна халькопирита, сфалерита (рис. 5);

2 – минералы зоны гипергенеза. Под воздействием агентов выветривания происходило выделение Ag при разложении серебряносодержащих сульфидов (галенита, сфалерита, штернбергита и др.) и блеклых руд (прустит, пираргирит). На такие выводы наталкивает форма выделения серебряносодержащих минералов. Например, оторочка вокруг зерен халькопирита, состоит из смеси каплевидных мелких выделений, возможно, самородного серебра или серебряносодержащих минералов (рис. 4).

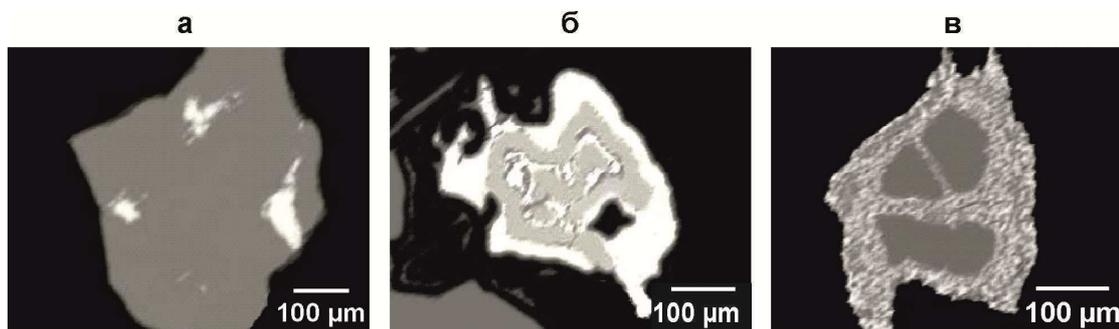


Рис. 5. Рудные минералы рыхлых отложений ЛПР Au-Ag зон Дукатского месторождения. а – включения акантита (белое) в зерне магнетита (серое); б – срастание акантита (белое) с пиритом (серое); в – халькопирит (серое) в оторочке каплевидных зерен штернбергита и самородного серебра. Изображения в обратно рассеянных электронах (а, б, в) выполнены на микроанализаторе JСХА-733 (JEOL Ltd, Tokyo, Japan).

С помощью электронно-зондового микроанализа было установлено, что среди минералов Ag преобладают акантит, штернбергит, самородное серебро. Зерна сульфидов серебра в разной степени корродированы. Значительная часть этих зерен имеет гипергенный облик. Самородное

серебро представлено тонкодисперсными частицами. Часто встречаются выделения в виде проволоки, дендритов, тонких пластинок, реже в виде «фольги».

Говоря о микронных выделениях самородного Ag следует отметить, что содержание Ag в нем соответствует теоретической формуле и либо близко к 100 % и количество других элементов в нем не превышает пределов обнаружения методов, либо равняется 100 %. Из наиболее распространенных элементов-примесей фиксируются Cu, Se, Fe, Te, Sb, Au.

Следует подчеркнуть, что гипергенное самородное Ag, в отличие от гипогенного, значительно «чище» и содержит меньшее количество примесей. Кроме того, гипергенная разность практически всегда содержит примесь Se, в отличие от гипогенной. На снимках в обратно рассеянных электронах видно, что для минералов Ag также характерно присутствие Hg.

В целом гипергенные ассоциации минералов Ag очень разнообразны. Это могут быть корродированный штернбергит с выделениями акантита, каемчатый акантит вокруг галенита, находящийся в парагенетической ассоциации с англезитом, который дальше может сменяться ассоциацией минералов семейства ярозита и гетитом, акантит вокруг пирита также сопровождается ярозитом и гетитом, вокруг арсенопирита – бедантитом и фармакосидеритом, вокруг марказита – гетитом.

Для наиболее полного представления об особенностях нахождения элементов-индикаторов оруденения в аллювиальных отложениях водотоков, дренирующих Au-Ag зоны месторождения, были изучены все рудные минералы. В рыхлых отложениях ЛПР были установлены частично сохранившиеся пирит, сфалерит, халькопирит и галенит – минералы, характерные для средне рудных горизонтов Дукатского месторождения.

Ртуть является одним из типоморфных элементов-индикаторов Au-Ag оруденения. Она характеризует надрудные и верхнерудные горизонты месторождения. Ртуть достаточно отчетливо прослеживается и в рыхлых отложениях ЛПР. Собственных минеральных форм этот элемент в ЛПР не образует, зато часто встречается в виде примеси практически во всех сульфидах, самородных золоте и серебре, а также в разных вторичных минералах (рис. 6).

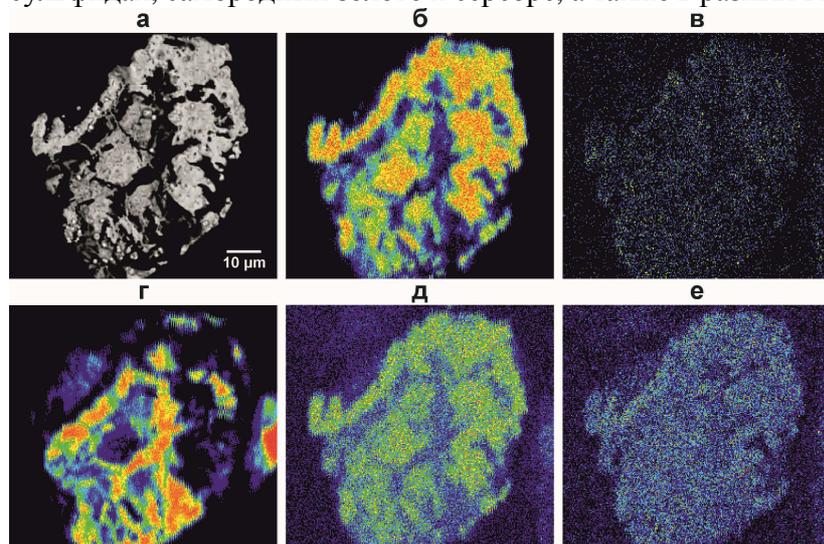


Рис. 6. Гипергенный агрегат акантита-штернбергита с примесью Hg из аллювиальных отложений ЛПР Au-Ag зон Дукатского месторождения (рч. Чайка). Изображение в обратно рассеянных электронах (а), изображения в рентгеновских лучах (б-е) – Ag Lα (б), Au Lα (в), Fe Lα (г), Hg Lα (д), S Lα (е). Изображения выполнены на микроанализаторе JCSA-8200 (JEOL Ltd, Tokyo, Japan).

Сурьма и мышьяк – одни из важнейших типоморфных элементов-индикаторов Au-Ag оруденения. Из минералов, содержащих сурьму, в рыхлых отложениях потоков рассеяния был установлен только пираргирит. Для него наиболее типичны ассоциации с акантитом. Довольно часто встречаются агрегаты пираргирита, в оторочке сульфидов Ag. Несмотря на то, что на площади Дукатского месторождения мышьяк образует широкие контрастные ЛПР, собственные минеральные ФН As встречаются крайне редко, в основном, в виде единичных корродированных зерен.

На одном из участков окисленного кварц-полевошпатового агрегата с помощью микрондовых исследований было обнаружено зерно, состоящее из Fe, As и O, отвечающее по составу питтициту – $Fe_x(AsO_4)_y(SO_4)_z \cdot nH_2O$ (рис. 7). Необходимо отметить, что питтицит является продуктом разрушения арсенопирита, образуя в гипергенных условиях трудно

растворимые формы (Дана, 1937). На Дукатском месторождении арсенопирит имеет относительно широкое распространение во вмещающих породах, в зонах развития площадной сульфидной минерализации.

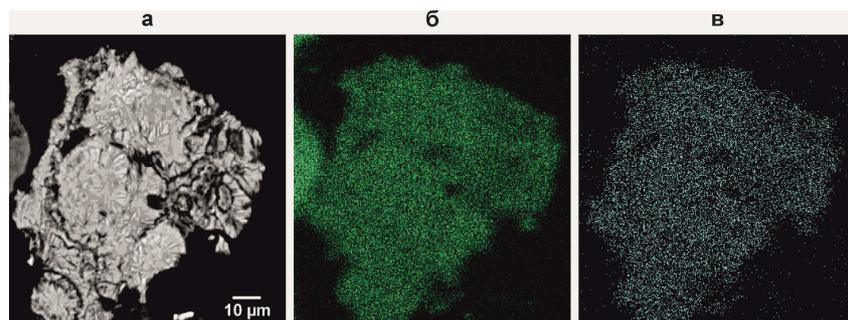


Рис. 7. Зерно состава Fe, As, O. Изображение в обратно рассеянных электронах (а), изображения в рентгеновских лучах (б, в) – As Lα (б), Fe Kα (в). Изображения выполнены на микроанализаторе JСХА-733 (JEOL Ltd, Tokyo, Japan).

Медь в потоках рассеяния Дукатского месторождения наиболее часто встречается в виде вторичных минералов, либо реликтов сульфидов в оторочке вторичных минералов. Достаточно часто зерна халькопирита, сфалерита и галенита находятся в оторочке минералов Ag. В рыхлых отложениях ЛПР самородная медь была установлена всего в нескольких случаях. Обнаруженные выделения самородной меди представлены отдельными яркими желтыми кристаллами игольчатой формы, слабо корродированными по периферии и по трещинам, размеры этих выделений не превышают десятых долей миллиметра (**рис. 8**).

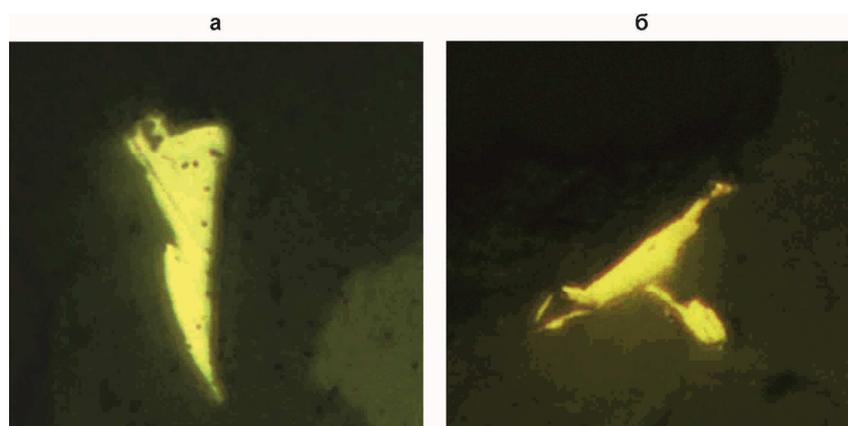


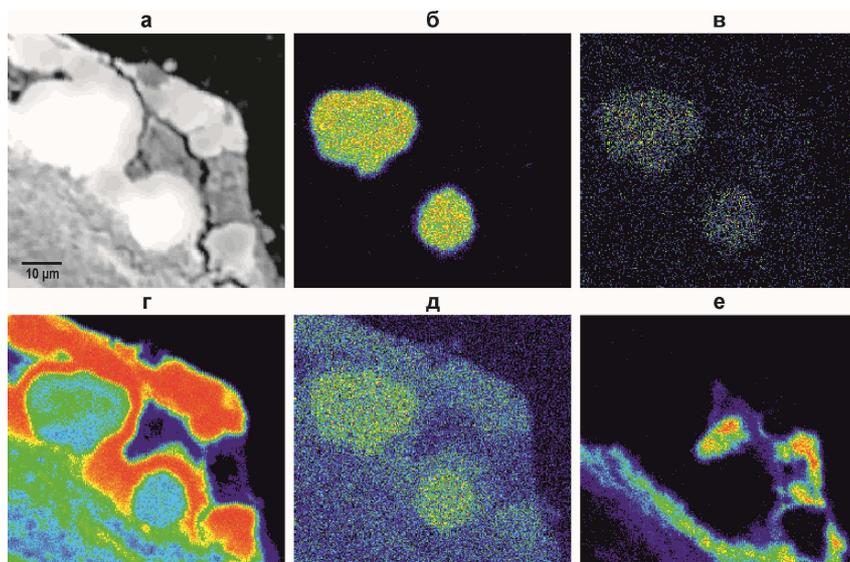
Рис. 8. Игольчатые кристаллы самородной меди из рыхлых отложений ЛПР Au-Ag зон Дукатского месторождения. Ширина поля зрения рисунков: а – 0.6 мм, б – 0.2 мм. Микроскоп. Николи П.

Вторичные минералы меди встречаются достаточно редко и в основном представлены халькозином и ковеллином. В отложениях потоков были установлены интерметаллические соединения Cu и Zn, подобные образования были встречены и в рудах (Филимонова, Трубкин, 2006). Кроме того, в аллювии были найдены реликты интенсивно разрушенных Cu-содержащих минералов, в которых отмечена примесь Hg.

Свинец в зоне окисления Дукатского месторождения свинец представлен зернами галенита и англезитом, образующим «рубашки» на галените. Нередко такие каймы имеют зональное строение, что объясняется длительностью их формирования. Часто отмечается ассоциация англезита с акантитом, что является типичным для Au-Ag месторождений Северо-Востока России в целом. Это объясняется тем, что для англезита характерна тесная связь с минералами серебра. Кроме того, довольно часто встречаются гидроксиды Fe, которые образуют совместные каймы вокруг галенита, иногда формируя тонкие концентрически-зональные и петельчатые структуры (**рис. 9**).

Собственно, галенит встречается довольно часто в виде обломков простой формы. Свежих зерен почти нет – только если в виде включений в магнетите. Самостоятельные зерна появляются значительно реже либо в оторочке церуссита-англезита, либо в реликтовой форме. Встречаются игольчатые галенита, развивающиеся по корродированному в значительной степени магнетиту, в отдельных случаях такие выделения развиты довольно интенсивно и практически полностью замещают собой все зерно магнетита.

Рис. 9. Галенит в оторочке гидроксидов Fe и Mn. Изображение в обратно рассеянных электронах (а), изображения в рентгеновских лучах (б-е) – Pb K α (б), S K α (в), Fe K α (г), Hg K α (д), Mn K α (е). Изображения выполнены на микроанализаторе JCSA-8200 (JEOL Ltd, Tokyo, Japan).



Цинк в потоках рассеяния представлен двумя формами – это, в разной степени, окисленные и корродированные кристаллы сфалерита или интерметаллические соединения с медью. Как и большинство сульфидов, в отложениях потоков рассеяния в виде самостоятельных кристаллов и агрегатов сфалерит практически не встречается. Наиболее часто этот минерал мы находим в оторочке Ag-содержащих минералов (**рис. 10**).

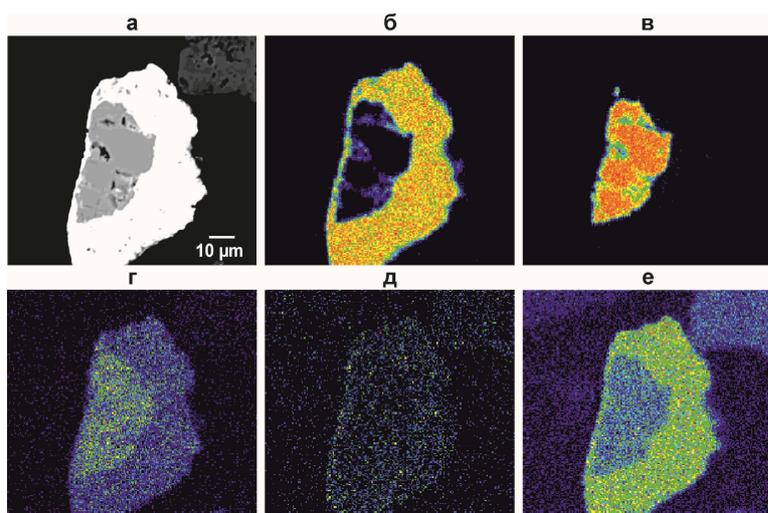


Рис. 10. Сфалерит (серое) в оторочке акантита (белое вокруг). Изображение в обратно рассеянных электронах (а), изображения в рентгеновских лучах (б-е) – Ag L α (б), Zn K α (в), S K α (г), Au L α (д), Hg K α (е). Изображения выполнены на микроанализаторе JCSA-733 (JEOL Ltd, Tokyo, Japan).

Несмотря на имеющиеся различия между ФН элементов-индикаторов в рудах и в отложениях ЛПР, связанные в большей степени с процессами зоны гипергенеза, ФН Au, Ag, Sb, As, Cu, Zn, Pb, Mn, Fe, Hg в рыхлых отложениях ЛПР, по крайней мере, в головной части потока, отражают особенности вещественного состава изученных зон и в достаточной степени идентифицируются с первичными рудами.

Микроминеральный и элементный состав золотосодержащих образцов, отобранных из рыхлых отложений водотоков, дренирующих месторождение, отражает особенности вещественного состава изученных зон. Этот состав в достаточной степени идентифицируется с первичными рудами, где одними из главных являются тонкодисперсное самородное золото, его интерметаллические соединения (электрум) и так называемое «связанное» Au – сорбционная форма и производные от нее.

По всей вероятности, Au в потоках рассеяния Au-Ag месторождений, кроме руд, в значительной степени, связано с ореольными зонами, имеющими широкое площадное распространение. Было установлено, что основным концентратом Au в рудах и основным концентратом и носителем в ореольных зонах являются сульфиды, в основном, пирит (Кравцова, Соломонова, 1984). В пирите преобладает поверхностно-связанное Au –

сорбционная форма и производные от нее (90-99 %) (Таусон, Кравцова, 2002). Естественно, что высокий процент в рудах и ореольных зонах «связанного» с сульфидами, легко выщелачиваемого обычными кислотами Au, т.е. Au находящегося в подвижной форме, оказывает существенное влияние на формирование литохимических потоков даже в условиях криолитогенеза.

Обогащенность золотом, как и рядом рудных элементов, рыхлого материала гранулометрической фракции -0.25 мм определяется широким развитием в тонких классах глинистых минералов и широкого спектра гидроокислов Fe и Mn, обладающих высокой сорбционной способностью. Установлено, что значительная часть подвижных микропримесных форм Au связана именно с этими образованиями и что, в отличие от большинства других рудных элементов, если учесть состав первичных руд, для Au эти формы в потоках рассеяния будут преобладающими.

Изучение ФН элементов-индикаторов в рудах и ореолах месторождений является крайне важной задачей в процессе проведения поисково-разведочных работ, поскольку позволяет получать информацию о распространении минеральных и неминеральных форм основных рудных элементов, в первую очередь Au и Ag.

Полученные данные имеют важное практическое значение и при оценке перспектив геохимических аномалий, выявленных по ЛПР – для выявления рудно-формационной принадлежности аномалий, выявления зональности, определения эрозионных зон и участков, прогноза оруденения на глубину.

Этот критерий может применяться на всех стадиях геохимического изучения золото- и сереброносных площадей, начиная с прогнозной оценки аномалий на слабо изученных территориях, до детальных работ на конкретных рудных объектах.

Третье защищаемое положение

В зонах криолитогенеза, в условиях современной гидросети, где процессы физического выветривания являются главными, при формировании ЛПР, установлена существенная роль химических факторов, в первую очередь хемосорбции. Основные факторы, влияющие на процессы хемосорбции – высокий процент в рудах и ореольных зонах подвижных форм элементов, широкое развитие глинистых минералов и гидроксидов Fe и Mn.

На основании описанного выше состава рыхлых отложений водотоков в сравнении с минеральным составом руд и зоны окисления (табл. 2), а также характера и особенностей распределения основных элементов-индикаторов «первичного» Au-Ag оруденения в ЛПР, рассмотрены особенности формирования потоков рассеяния элементов-индикаторов Au-Ag оруденения. Основное внимание уделяется факторам, приводящим к смещению количественных взаимоотношений между элементами, изменению ФН элементов и появлению новых, «чужеродных» для Au-Ag руд элементов, и в целом, усложняющих картину АГХП в пределах изучаемой территории.

К таким факторам относятся химические свойства элементов, процессы химического выветривания, а также факторы условий внешней среды, такие как разветвленность гидросети, динамический режим и состав подземных вод, климат и мерзлотные условия, влияние склоновых процессов, морфология рудных тел, уровень эрозионного среза. Процессы химического и физического выветривания происходят неразрывно друг от друга и взаимосвязаны, но в зависимости от физико-географических условий преобладает тот или иной тип выветривания.

Факторам, участвующим в формировании ЛПР Au и Ag, уделяется наибольшее внимание, т.к. эти элементы являются главными индикаторами Au-Ag оруденения.

Рассмотрев особенности распределения и ФН Au и Ag, было сделано следующее обобщение. Максимальные концентрации Au и Ag, близкие к значениям в рудах, установлены в головной части потока. На примере Au четко видно, что далее по мере продвижения потока общие содержания этого элемента снижаются, но значительно, возрастает доля Au, практически до 90 %, находящегося в ультрадисперсной и тонкодисперсной формах. В целом для распределения Au во фракциях аллювия установлена ясная взаимосвязь наиболее высоких концентраций с тонкими фракциями, где наиболее широко распространены глинистые минералы и гидроксиды Fe и Mn, обладающие высокой сорбционной способностью.

Табл. 2. Общая характеристика функциональных связей минерального состава в ряду руда → зона окисления → литохимический поток рассеяния для Au-Ag зон Дукатского месторождения. Составлена автором по материалам (Сидоров и др., 1989; Двуреченская, 2001; Сахарова, Брызгалов, 1981; Раевская, Калинин, 1983; Раевская, Калинин, 1983; Кравцова, 2010).

Руда	Зона окисления	Литохимический поток рассеяния
Рудные минералы		
самородное Ag; самородное Au; аргентит; кюстелит; электрум; штернбергит; науманит; гессит; галенит; пираргирит; арсенопирит; сфалерит; клеюфан; халькопирит; пирит; пирротин; стефанит; петцит; фаматинит; антимонит	самородное Ag; самородное Au; электрум; разрушенные зерна акантита, пираргирита, штернбергита; частично сохранившиеся зерна и обломки галенита, сфалерита, пирита, обломки пирротина, халькопирита; обломки магнетита, оксиды и гидроксиды Fe и Mn; вторичные минералы – ярозит, англезит, церуссит, смитсонит, халькозин, ковеллин; реже встречаются самородные S и Cu, водорастворимые сульфаты Cu, Fe и Zn – малахит, азурит, борнит, скородит	самородное Au; штрмейерит и пираргирит, обогащенные Au; электрум иногда с образованием высокопробные каймы Au; кюстелит; самородное Ag значительно «чище» по сравнению с гипогенным; акантит; штернбергит интенсивно корродированный; при разложении сложных сульфидов происходит разделение на простые; пираргирит интенсивно окисленный и корродированный; гидроксиды и оксиды Fe и Mn колломорфно-зональной структуры с примесью As, Au, Ag, Hg и Pb; обломки магнетита в разной степени окисленного; гематит; англезит и церуссит; редко встречаются галенит, пирит пирротин, халькопирит, сфалерит в оторочке серебряных и вторичных минералов; в меньшей степени распространены полибазит, стефанит; крайне редко – андорит, гессит, канфильдит, алларгентум, ялпаит; гипергенные агрегаты Mn и Pb с примесью Hg, возможно пьемонтит; минеральных форм As не найдено, возможно установлен питтицит; самородная Cu; интерметаллические соединения Cu и Zn
Нерудные минералы		
кварц; адуляр; хлорит; пьемонтит; сидерит	разрушенные кварц и полевые шпаты (до 60 %); серицит (до 40 %); гидрослюда и каолинит (до 10 %); карбонаты, эпидот и хлорит (до 5 %)	практически разрушенные плагиоклазы, карбонат, оливины, амфиболы, пироксены, слюды, адуляр, мусковит; серицит; гидрослюда и каолинит, монтмориллонит; иллит, ярозит

Для Au и Ag, также как для большинства изученных сопутствующих элементов-индикаторов Au-Ag оруденения, выявлена закономерная приуроченность повышенных содержаний элементов к мелкой фракции. Таким образом, установлено увеличение доли тонкодисперсных форм по мере переноса водными потоками материала, преобразованного химическими процессами с последующим их осаждением на глинистых минералах благодаря процессам хемосорбции. Подобное поведение золота и серебра является доказательством развития и широкого влияния на формирование рыхлых отложений ЛПП процессов хемосорбции, в условиях зоны распространения многолетнемерзлых пород.

Кузнецовым В.И. (1974) в пробах льда из-под делювия аномальные содержания Au во льду были обнаружены в виде нескольких пятен, наиболее крупные из которых пространственно приурочены к известному рудному телу. Аномальные содержания Ag во льду образуют более широкие пятна-полосы, которые вблизи известных рудных источников перекрывают гидрогеохимические ореолы Au.

В вулканогенных Au-Ag рудах преобладающим развитием пользуется электрум, отмечается низкопробное самородное золото, в отложениях потоков рассеяния в виде реликтов постоянно отмечается электрум. По мнению ряда авторов (Нестеренко В.Г., Николаева Н.М., Петровская Н.В.) образование кайм повышенной пробности вокруг золотин может быть связано с процессами гипергенеза в результате перекристаллизации золотины с одновременным выносом серебра. Подобные образования были установлены и в аллювиальных отложениях рч. Чайка-Искра. Непосредственно в самом зерне пробность Au не превышает 480, в кайме же возрастает до 650, следовательно, обнаружение таких агрегатов в отложениях потоков рассеяния указывает на влияние процессов, способствующих перераспределению элементов как внутри единого зерна, так и выносу их за пределы этого зерна в гипергенных условиях.

В рыхлых отложениях ЛПП из минералов Ag наиболее часто встречаются сложные корродированные агрегаты, представляющие собой тесные срастания серебрясодержащих минералов, зачастую переходящих один в другой без видимой четкой границы. Вероятнее всего, такие выделения образованы при распаде первичных серебряных минералов в гипергенных условиях, приводящих к перераспределению элементов в пределах зерна. Также в процессе образования подобных метаагрегатов важную роль играет разрушение первичных зерен, образование трещин в них, в которых зачастую и идет отложение более простого минерала, образовавшегося при разложении первоначального более сложного по составу. Например, при разложении штернбергита Ag и Fe разделяются и по трещинам происходит отложение гидроксидов Fe, в то время, как оставшаяся часть зерна замещается акантитом и самородным Ag (рис. 11).

Перечисленные выше факты доказывают, что при формировании ЛПП, в первую очередь золота и серебра, нельзя не учитывать роль химических процессов.

По мере продвижения потока резко возрастает доля тонкодисперсного и связанного с сульфидами Au, это легко объясняется тем, что при перемещении материала от головной части к шлейфовой снижается роль физического переноса материала, и увеличивается значимость химического влияния переноса, в виде растворов, в то время как для Ag эта картина выглядит несколько «смазанной». Подобное поведение данных элементов связано с тем, что по мере продвижения водного потока на его пути встречаются Ag-Pb и Sn-Ag участки оруденения и зоны рассеянной сульфидной минерализации, в результате чего происходит смещение количественных взаимоотношений между элементами-индикаторами в рыхлых отложениях ЛПП.

В целом, для всех элементов-индикаторов Au-Ag оруденения установлена одна и та же закономерность – в головной части потока содержания выше, по мере продвижения по потоку, снижаются. Однако для некоторых элементов-индикаторов наблюдаются некоторые особенности распределения, так, например, для ртути эта тенденция не так ярко выражена, как например для Cu и Sb, а содержания As на всем протяжении потока практически не изменяются; кроме того, установленные содержания

Pb и Zn значительно выше, чем это характерно для Au-Ag оруденения. Очевидно, что такое нехарактерное распределение элементов-индикаторов Au-Ag оруденения связано с размыванием рудных жил, относящихся к другому типу минерализации.

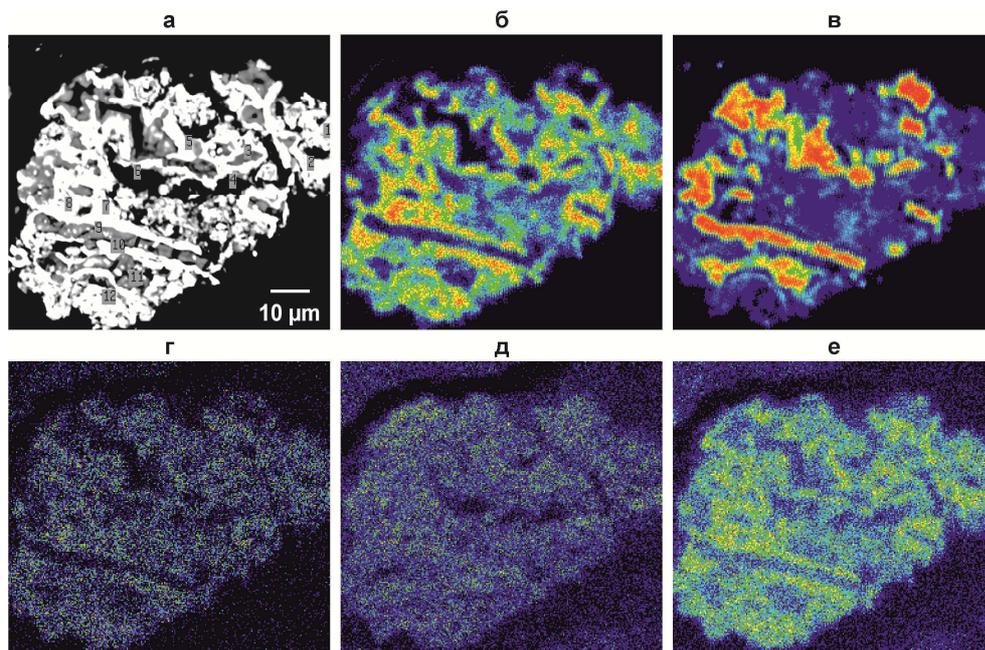


Рис. 11. Корродированный агрегат самородного Ag и акантита - штернбергита из рыхлых отложений ЛПР Au-Ag зон Дукатского месторождения. Изображение дано в обратно рассеянных электронах (а), изображения даны в рентгеновских лучах (б-е) – Ag Lα (б), Fe Kα (в), S Kα (г), As Lα (д), Hg Kα (е).

Геологическую работу водотоков можно рассматривать как взаимодействие водного потока и русла, выражающееся в эрозии, переносе рыхлого и растворенного в воде материала, и аккумуляции его. Эти процессы в самих водных потоках происходят обычно одновременно, но с разной скоростью, кроме того, для аккумуляции очень важны условия, способствующие осаждению материала на геохимических барьерах.

Распространенное мнение о том, что процессы окисления руд почти полностью приостанавливаются при отрицательной температуре (Нестеров, 1985), основано главным образом на предположении об отсутствии в многолетнемерзлых породах воды. Однако известно, что часть воды при промерзании сохраняется и способна к перемещению при отрицательных температурах.

Примером существенного влияния процессов окисления не только руд, но и вмещающих пород служит арсенопирит. При его окислении происходит разрушение сульфида и перевод мышьяка в труднорастворимые формы типа скородита ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), питтицита ($\text{Fe}^{3+}_x(\text{AsO}_4)_y(\text{SO}_4)_z \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и др.

Так было обнаружено зерно, отвечающее по составу питтициту – $\text{Fe}_x(\text{AsO}_4)_y(\text{SO}_4)_z \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (рис. 7). Для типичных вулканогенных Au-Ag руд арсенопирит обычно не характерен. Но на Дукатском месторождении этот минерал имеет достаточно широкое распространение во вмещающих породах, в зонах развития площадной сульфидной минерализации. Появление его в потоках рассеяния Au-Ag зон говорит о влиянии вмещающих пород на их формирование и объясняет широкое проявления аномальных геохимических полей As на всей площади месторождения. Этим же можно объяснить и то, что значительная часть аномалий As, выявленная на территории Дукатского рудного узла, не только с золото-серебряными, но и вообще с промышленно значимой рудной минерализацией не связана.

Появление в потоках рассеяния нехарактерных для Au-Ag минерализации элементов, таких как Mo, W, Sn, Bi и Mn, связано с влиянием вмещающих пород и жил других типов

оруденения, размываемых ручьями на поверхности и подземными водами на глубине.

Формирование рыхлого материала изучаемых ручьев не обходится без влияния склоновых процессов. Склоновые процессы связаны в первую очередь с действием сил гравитации, оползанием, оплыванием и плоскостным смывом. Они перерабатывают первичные склоны, определяют их конкретный облик и их дальнейшее развитие. Особенности проявления склоновых процессов зависят от ряда условий, главными из которых являются уклоны первичных склонов, мощность и механический состав отложений, режим их увлажнения.

Гора Дукат, где расположено месторождение, является водоразделом рч. Непонятого (система р. Омсукчан) и рч. Каховка (водная система р. Балыгычан). Абсолютные отметки в районе месторождения 1200-1280 м. Относительные превышения над днищами долин 400-500 м. Склоны гор крутые – до 25-30°, нередко обвальнo-осыпного типа, крутизна склонов у подножья иногда увеличивается до 45°. Учитывая крутизну склонов и интенсивность процессов физического выветривания, что создает благоприятные условия для развития склоновых процессов, основными источниками обогащения поверхностных водотоков рудными элементами в рассмотренных условиях являются развалы жильных образований и околорудных метасоматитов. Подобная картина встречается в головной части рч. Чайка. В аллювиальных отложениях в головной части потока были встречены крупные не окатанные обломки рудного материала, практически неизмененные гипергенными процессами. Далее по мере продвижения потока увеличивается доля окисленных и разрушенных рудных минералов и снижается размерность переносимых и перекатываемых твердых частиц.

ФН элементов-индикаторов оруденения в рыхлых отложениях потоков рассеяния играют важную роль не только для выявления рудно-формационной принадлежности, но также, и для определения уровня эрозионного среза размываемых зон. Так, отсутствие в рыхлых отложениях собственных минеральных форм Mn, но широко проявленные на площади высококонтрастные геохимические поля этого элемента напрямую указывают на то, что исследуемыми водотоками размываются только верхне- и среднерудные интервалы месторождения, т.к. к ним приурочены только родохрозит (карбонат Mn) и пьмонтит (Mn-содержащий эпидот) – минералы, легко выветриваемые и выщелачиваемые водой. На нижнерудных же интервалах распространен значительно более устойчивый минерал – родонит (Mn, Fe, Mg, Ca)SiO₃. Появление Fe в аллювиальных отложениях потоков рассеяния объясняется разложением и выносом интенсивно пиритизированных околорудных метасоматитов. Для совместных выделений гидроксидов Fe и Mn наиболее часто характерны колломорфные и ритмично-полосчатые структуры, появление которых указывает на образование этих агрегатов из коллоидов и гелей (**рис. 12**).



Рис. 12. Агрегат гидроксидов Mn и Fe ритмично-полосчатой и колломорфной структуры. Микроскоп. Николи П. Ширина поля зрения рисунка 0.7 мм.

Таким образом, фактором, доказывающим влияние процессов химического выветривания на формирование ЛПР, является появление ФН элементов, не характерных для рудных зон. Например, отсутствие собственных минеральных форм As, таких как сульфосоли

серебра, преобладание по сравнению с рудами гидроксидов Fe и Mn. Кроме того, привнос в материал потоков рассеяния таких элементов как Bi и Mn, связанных непосредственно с вмещающими породами, напрямую указывает на то, что на формирование ЛПП Дукатского месторождения существенное влияние было оказано склоновыми процессами.

Одной из ФН Au в ЛПП является неминеральная легкорастворимая обычными кислотами форма, которая сорбируется на гидроксидах Fe и Mn. Присутствие именно этой ФН Au в ЛПП является важным показателем развития процессов химического выветривания и хемосорбции в условиях криолитогенеза.

На факт значительного влияния процессов химического выветривания на формирование ЛПП указывает поведение таких элементов, как Hg, As, и Mn. В отложениях ЛПП Hg и As крайне редко имеют свои собственные минеральные формы, но при этом характеризуются контрастными геохимическими полями, широко проявленными по всей площади и Дукатского месторождения, и одноименного рудного узла.

Таким образом, в условиях сплошного распространения многолетнемерзлотных пород субарктических ландшафтов, в условиях зон криолитогенеза, главными источниками формирования ЛПП являются продукты современного выветривания минералов, ореольные воды (пленочные воды) и поверхностные водотоки.

Обобщая все вышесказанное, приходим к следующим выводам, что главными факторами перевода микрокомпонентов (Au, Ag, Hg, Sb, As, Cu, Pb и Zn и др.) в воду, их преобразования и осаждения, являются процессы химического выветривания. Физические же процессы определяют преобладающую форму миграции этих элементов в природных водах в виде взвеси и перекачивание по дну рыхлого твердого материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены особенности распределения и формы нахождения элементов-индикаторов оруденения (Au, Ag, Hg, Sb, As, Cu, Pb, Zn) в ЛПП Au-Ag зон Дукатского месторождения. Установлено, что особенности распределения и ФН рудных элементов в аллювиальных отложениях водотоков, дренирующих Au-Ag зоны, теснейшим образом связаны с составом «первичных» руд. Так же как в рудах, главными элементами-индикаторами оруденения являются Au и Ag, основными сопутствующими – Hg, Sb, As, Cu, Pb, Zn.

Выявлено закономерное изменение концентраций этих элементов по мере продвижения и формирования потока. Так для большинства изученных элементов (Au, Ag, Sb, Cu, Pb, Zn,) по мере удаления от дренируемых и эродированных рудных жил и зон, происходит разубоживание материала и, как следствие, снижение содержания. Та же тенденция, хотя и менее отчетливая, характерна для Hg.

Исключение составляет только As, высокие концентрации которого отмечены в аллювиальных отложениях и в головной, и шлейфовой частях ЛПП. Объясняется это тем, что с одной стороны появление высоких концентраций As связано с разрушением сульфоарсенидов серебра (в головной части потока), постоянно присутствующих в рудах месторождения, с другой – с арсенопиритом (в шлейфе), который встречается во вмещающих породах в виде вкрапленности.

При сравнении содержания рудных элементов в рядовых геохимических пробах и большеобъемных пробах было установлено, что для большинства элементов-индикаторов Au-Ag оруденения максимальные содержания обнаружены именно в большеобъемных пробах, в основном в их мелкой фракции (-0.25 мм).

Показано, что изучение качественного и количественного элементного состава аллювия с помощью отбора объемных минералого-геохимических проб особенно актуально для водотоков I-II порядков. Эти водотоки, как правило, характеризуются фрагментарным развитием рыхлых отложений, материал плохо отсортирован, мелкая фракция часто отсутствует. Все это усложняет отбор рядовых геохимических проб по классической схеме, через 200-250 м, резко снижает эффективность площадных съемок

по ЛПР и значительно затрудняет выявление аномалий или делает это вообще невозможным.

Кроме того, на практике мы часто сталкиваемся с плохо разветвленной гидросетью, ручьями с уровнем гидрогеологической воронки ниже уровня эрозионного среза, с неблагоприятной морфологией рудных тел и их положением по отношению к водотокам. Существенное влияние на формирование ЛПР оказывают склоновые процессы, что приводит к смещению количественных взаимоотношений элементов-индикаторов оруденения и появлению в рыхлых отложениях так называемых «чужеродных» элементов.

Очевидно, что для интерпретации таких аномалий, с целью оценки промышленной значимости объектов, необходимы дополнительные критерии. В качестве такого критерия предложено рассматривать ФН рудных элементов.

В зонах криолитогенеза, в условиях современной гидросети, большинство рудных элементов образуют открытые механические потоки рассеяния (ореолы). В механическом ореоле минеральные компоненты присутствуют в форме твердой фазы. Частичное сохранение первичных рудных минералов, в первую очередь Au и Ag, по крайней мере, в отложениях головной части открытого водотока обусловлено неполнотой его окисления в условиях сравнительно быстрого перемещения рыхлого материала в поверхностном слое и быстрой нейтрализацией (при удалении от сульфидных зон) кислых вод зоны окисления из-за притока поверхностных вод.

Золото в аллювиальных отложениях, так же как в рудах, представлено редко встречающимися супермелкими единичными зернами электрума в основном низкой пробыности (330 ‰ - 480 ‰), тонкодисперсными частицами (дисперсными, ультрадисперсными, коллоиднодисперсными) и так называемым «связанным», в основном с сульфидами, невидимым Au (сорбционной составляющей и производными от нее). Единичные содержания Au установлены в разрушенных зернах минералов Ag (акантита, штернбергита).

Значительная часть Au в рыхлых отложениях потоков рассеяния, также как в первичных рудах, тесно связана с сульфидами. Основным концентратором в рудах и носителем Au в ореольных зонах (околорудных метасоматитах) Au-Ag месторождений, как было установлено ранее, является пирит, в котором так называемое «связанное» невидимое Au – сорбционная форма и производные от нее – составляют 90 % и более. Естественно, что высокий процент в рудах и ореольных зонах «связанного» с сульфидами, легко выщелачиваемого обычными кислотами Au, т.е. Au находящегося в подвижной форме, оказывает существенное влияние на формирование ЛПР даже в условиях криолитогенеза.

Серебро, кроме гипергенных образований, микровключений и ультраразмерных частиц, представлено самородной формой и частично сохранившимися сульфидами и сульфосолями. Среди минералов Ag, также как в рудах, преобладают акантит, штернбергит, самородное Ag. Зерна сульфидов Ag в разной степени корродированы, значительная их часть имеет гипергенный облик. Самородное Ag представлено тонкодисперсными частицами. Из сульфосолей Ag отмечен пираргирит.

В гипергенных условиях также идет выделение Ag при разложении серебросодержащих минералов. Об этом свидетельствует найденная вокруг них оторочка, состоящая из смеси мелких каплевидных зерен самородного серебра.

Показано, что при изучении условий формирования ЛПР в зонах криолитогенеза, где процессы физического выветривания считаются главными, нельзя не учитывать роль химических факторов, в первую очередь сорбции и хемосорбции. Доказательством тому служит обогащенность Au, Ag и в целом рудными элементами рыхлого материала «тонких» классов. Высокий процент в рудах и ореольных зонах подвижных, легко выщелачиваемых обычными кислотами форм элементов, в сочетании с широким развитием в этих классах глинистых минералов и гидроксидов, оказывает на процессы хемосорбции существенное влияние.

Так, в русловых отложениях головной части потока доля тонкодисперсного и «связанного» Au, элемента, как традиционно считается, меньше всего подверженного

процессам химического выветривания, достигает 50–60 %. На долю самородного Au (электрума) приходится 40–50%. По мере транспортировки материала происходит его разубоживание. В шлейфе ЛПР, на фоне снижения концентраций, увеличивается доля тонкодисперсного и так называемого «связанного» Au (до 95%). Очевидно, что эти две формы Au в потоках, по сравнению с рудами, преобладают.

Еще в большей степени все выше сказанное относится к поведению и ФН в ЛПР таких элементов как Hg, Sb и As. Особенности распределения и ФН этих элементов в ЛПР (редко встречающиеся собственно минеральные формы, или как для ртути их полное отсутствие, большое количество вторичных образований, существенное преобладание сорбционной составляющей) можно объяснить еще большей неустойчивостью соединений Hg, Sb и As. Переходя в гипергенных условиях в легко подвижные водорастворимые формы, они затем в результате процессов хемосорбции, в ЛПР появляются новые образования. Даже Cu, Pb и Zn, хотя и в меньшей степени, но все же, подвержены этим процессам (появление в гипергенных условиях вторичных минералов, различных солей и водорастворимых соединений).

Таким образом, вопреки традиционной точке зрения, что основную роль при формировании ЛПР в условиях зон криолитогенеза играет физическое выветривание, показано, что не менее существенная роль принадлежит процессам химического выветривания (растворение, окисление, сорбция, хемосорбция).

Подтвердились ранее полученные данные, что для выявления геохимических аномалий в горных районах Северо-Востока России, относящихся к субарктическим ландшафтам, в условиях зон криолитогенеза эффективным является опробование водотоков I–II порядков, которые, как правило, непосредственно дренируют минерализованные зоны и участки.

Даже плохо сформированные рыхлые отложения верховьев водотоков, даже временных, характеризуются наибольшими концентрациями рудных элементов, в первую очередь Au и Ag. Следовательно, значительно увеличивается количество выявленных аномалий, а повышенные концентрации элементов в русловых отложениях, более полно отражают формационный тип имеющейся здесь рудной минерализации.

В практическом отношении особенности распределения и ФН рудных элементов-индикаторов Au-Ag оруденения во вторичных средах, так же, как и в первичных, служат эффективным критерием оценки геохимических аномалий, выявленных по ЛПР. Они являются надежным показателем их рудно-формационной принадлежности и, как следствие, промышленной значимости.

По содержанию, характеру распределения и ФН элементов-индикаторов оруденения в ЛПР, в ряде случаев, появляется возможность оценки уровня эрозионного среза дренируемых и эродированных зон и участков, т.е. прогнозировать оруденение на глубину. Предполагается, что водотоки, дренирующие Au-Ag зоны Дукатского месторождения, вскрывают в основном его верхне- и среднерудные горизонты.

Выявленные закономерности и установленные критерии могут успешно применяться на всех стадиях геохимического изучения рудоносных площадей, начиная с прогнозной оценки перспектив, выявленных по ЛПР аномалий (экзогенных геохимических полей) на слабо изученных территориях, до детальных работ на конкретных, уже известных рудных объектах. И не только на территории Северо-Востока России, но и в других северных регионах, на тех площадях, где формирование ЛПР происходит в условиях зон криолитогенеза.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

Кравцова Р.Г., Павлова Л.А., **Рогозина Ю.И.**, Макшаков А.С. Первые данные по формам нахождения золота в литохимических потоках рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения (Северо-Восток России) // Докл. РАН. – 2010. – Т. 434, № 1. – С. 96-106.

Кравцова Р.Г., Павлова Л.А., **Рогозина Ю.И.** Формы нахождения серебра в рыхлых отложениях потоков рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения (СВ России) // Геохимия. – 2010. – № 7. – С. 779-784.

Кравцова Р.Г., Макшаков А.С., **Тарасова Ю.И.**, Куликова З.И. Минералого-геохимические особенности вмещающих пород и руд золото-серебряного месторождения «Роговик» (Северо-Восток России) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. – 2012. – № 2 (41). – С.11-22.

Кравцова Р.Г., **Тарасова Ю.И.**, Макшаков А.С., Павлова Л.А. Особенности распределения и формы нахождения золота, серебра и сопутствующих элементов в потоках рассеяния золото-серебряных зон Дукатского месторождения (Северо-Восток России) // Геология и геофизика (в печати).

Статьи в рецензируемых сборниках

Рогозина Ю.И., Кравцова Р.Г. Формы нахождения серебра в литохимических потоках рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения (Северное Приохотье) // Металлогения древних и современных океанов – 2007. Гидротермальные и гипергенные рудоносные системы – 2007. – С. 35–39.

Рогозина Ю.И., Кравцова Р.Г. Формы нахождения Au в потоках рассеяния и их использование при поисках золото-серебряной минерализации, Северное Приохотье // Металлогения древних и современных океанов – 2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. – 2009. – С. 103-108.

Павлова Л.А., **Рогозина Ю.И.**, Кравцова Р.Г. Формы нахождения Au в литохимических потоках рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований. Матер. Всероссийской конф. посвященной 100-летию Н.В. Петровской. – 2010. – Т.2. – С. 123-125.

Тарасова Ю.И., Кравцова Р.Г. Формы нахождения элементов - индикаторов оруденения в потоках рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения (Северо-Восток России) // Материалы 2-ой междунар. НПК молодых ученых и специалистов памяти акад. А.П. Карпинского. – 2011. – С.430-435.

Тарасова Ю.И., Макшаков А.С. Ртуть в рудах, первичных ореолах и потоках рассеяния Дукатского Au-Ag месторождения (Северо-Восток России). – Металлогения древних и современных океанов-2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов. – 2013. – С.214-218.

Тезисы конференций и совещаний

Рогозина Ю.И., Макшаков А.С. Формы нахождения золота и серебра в рыхлых отложениях потоков рассеяния Дукатского золото-серебряного месторождения (Северо-Восток России) // Тез. докл. Четвертой Сибирской междунар. конф. молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 1-3 декабря 2008 г.). – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2008. – С. 224-225.

Тарасова Ю.И., Кравцова Р.Г., Павлова Л.А. Формы нахождения элементов-индикаторов золото-серебряного оруденения в потоках рассеяния и их роль при оценке аномалий (СВ России) // Международный II горно-геологический форум «Золото северного обрамления Пацифика». Тез. докл., Магадан. – 2011. – С. 268-270.

Подписано к печати 14.11.2014 г.

Печать офсетная. Бумага «Люкс».

Формат 60×84/16. Усл. п.л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 60.

Отпечатано в ИГХ СО РАН, 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а