

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГХ СО РАН)

УДК 550.4:551.2

Per. № 121042100029-0

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГХ СО РАН
Д.Г.М.Н. А.Б. Перепелов
«26» января 2024 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по теме:

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНЫЕ РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ
СКЛАДЧАТОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОГО КРАТОНА
(промежуточный)

Шифр проекта № 0284-2021-0001

Направление и разделы фундаментальных и поисковых научных исследований:

1.5.5. Геология твердых полезных ископаемых

1.5.5.2. Металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от
генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов

Протокол Ученого совета ИГХ СО РАН №3 от 26 января 2024 г.

Руководитель проекта
Главный научный сотрудник

 академик РАН Н.А. Горячев
подпись, дата 25.01.2024

Иркутск 2023

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы,
академик РАН



подпись, дата 25.01.2024 Н.А. Горячев (введение,
разделы 1, 2, 3, 4,
заключение)

Ответственные исполнители

темы:

кандидат геолого-
минералогических наук



подпись, дата 24.01.2024

А.Е. Будяк (разделы 1, 4)

доктор геолого-
минералогических наук



подпись, дата 24.01.2024

С.В. Ефремов (раздел 2)

инженер



подпись, дата 25.01.2024

Т.С. Никанюк (раздел 3)

кандидат технических наук



подпись, дата 25.01.2024

В.В. Кондратьев (раздел 4)

кандидат геолого-
минералогических наук



подпись, дата 24.01.2024

А.В. Паршин (раздел 4)

нормоконтроль



подпись, дата 25.01.2024

Т.Ю. Гармышева

РЕФЕРАТ

Отчет включает 42 стр., 13 илл., 72 ист., 1 прил.

ТИПОМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ, ЗОЛОТО, ПИРИТ, ГРАНИТЫ, ГЕОХИМИЯ, ИЗОТОПИЯ, САЯНО-БАЙКАЛЬСКИЙ, ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКИЙ ОРОГЕННЫЕ ПОЯСА, ЗАБАЙКАЛЬЕ, ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В отчете изложены основные результаты исследований по теме «Благороднометалльные рудообразующие системы складчатого обрамления Сибирского кратона», сгруппированные в три раздела. В разделе 1 проведено сопоставление эволюции золотого рудообразования в структурах Байкало-Патомского и Верхояно-Колымского окраинно-континентальных орогенных поясов, возникших на пассивной окраине Сибирского континента в неопротерозое-палеозое и палеозое-мезозое, и вмещающих самые крупные месторождения золота России. Показаны черты сходства, зафиксированные не только в характеристиках этапности минерализации, но и в типоморфизме пирита, главного минерала рудных образований. Показана роль полихронных орогенных событий палеозойского и позднемезозойского времени, приведших к формированию крупных складчатых поясов в формировании масштабной золотой минерализации южного и восточного обрамления Сибирского кратона. Анализ показал, что золоторудные объекты в пределах зоны Монголо-Охотского шва и Олекма-Шилкинского водораздела практически аналогичны друг другу. Им свойственен контроль одним магматическим комплексом, близкий геологический возраст, аналогичный набор полезных компонентов и последовательность эволюции процесса рудообразования. Их появление связано с единым геологическим процессом, наложенным на два различных геологических блока. По результатам проведенной работы на месторождении золота Верхне-Алиинское, выделены два этапа формирования гидротермальной минерализации: ранний турмалин-мусковит-кварцевый, связанный с ундинскими гранитами, и поздний, собственно рудный, кварц-сульфидный с турмалином. Намечены черты зональности распределения минерализации в пределах рудного поля Верхне-Алиинского месторождения. Проведенные работы, помимо фундаментального значения, имеют и важную прикладную направленность, дающую оценку перспектив исследуемого оруденения в пределах конкретных площадей и районов или технологическую характеристику руд. Общие металлогенические характеристики палеогеодинамических обстановок формирования благороднометалльного оруденения орогенного типа независимо от его возраста, могут послужить основой для геолого-генетических и прогнозных построений и выработки комплексных критериев оценки перспектив в пределах рассмотренных регионов.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ.....	3
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1 ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОРОГЕННЫХ ПОЯСОВ ЮЖНОГО И ВОСТОЧНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОГО КРАТОНА	7
1.1 Региональная позиция	7
1.2 До-орогенная история	11
1.3 Орогенные события, как фактор формирования золотых руд	11
1.4 Общие и отличительные черты орогенной минерализации разного возраста	13
РАЗДЕЛ 2 ЗОЛОТОРУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И СОПРОВОЖДАЮЩИЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ШОВНОЙ ЗОНЫ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ШВА С УДАЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ ОЛЕКМА-ШИЛКИНСКОГО ВОДРАЗДЕЛА	16
РАЗДЕЛ 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ БАЛЕЙСКОГО РАЙОНА (СРЕДНЕ-ГОЛГОТАЙСКОЕ И ВЕРХНЕ АЛИИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ).....	20
3.1 Результаты исследования.....	23
3.2 Обсуждение полученных результатов.....	25
РАЗДЕЛ 4 ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	26
4.1 Локальный прогноз.....	26
4.2 Работы по повторному использованию и механохимической переработке хвостов обогащения руд, используемых для извлечения Pb и Zn	28
4.3 Геофизические методы.....	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	40

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

БПЛА – беспилотный летательный аппарат;

БПЛА-МПП – метод переходных процессов, выполняемый при помощи беспилотных летательных аппаратов

МООП – Монголо-Охотский орогенный пояс

РМС – рудно-магматическая система

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель программы исследований по теме «Металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов» – это выявление условий накопления и реализации благороднометалльного потенциала складчатых структур, обрамляющих Сибирский кратон, через изучение процессов рудообразования месторождений благородных металлов разных генетических типов на примере тектонических структур Байкало-Патомского нагорья, Восточного Саяна и Забайкалья.

В период 2023 работы были сосредоточены на проведении сравнительного анализа металлогении разновозрастных орогенных поясов. Проведено изучение геологических и минералого-геохимических процессов рудообразования благороднометалльных месторождений различных генетических и формационных типов, сформированных в различных геодинамических обстановках Забайкалья, Прибайкалья и Северо-Востока России. Определение источников рудного вещества и связь становления рудных систем с геодинамическими событиями в истории развития Сибирского континента. Разработка на этой основе индикаторов оценки перспективности рудной минерализации.

Исследования проводились по трем основным направлениям:

- (1) Обстановки локализации золоторудных месторождений орогенных поясов южного и восточного обрамления Сибирского кратона;
- (2) Золоторудная минерализация и сопровождающие магматические комплексы шовной зоны Монголо-Охотского шва с удаленными объектами Олекма-Шилкинского водораздела.
- (3) Определение генетической принадлежности оруденения Бaleyского района (Средне-Голготайское, Верхне Алиинское и пр. месторождения)

Результаты работ изложены ниже, в рамках соответствующих разделов отчета. Кроме того, мы посчитали необходимым коснуться и прикладного значения проводимых исследований, чему посвящен раздел 4.

РАЗДЕЛ 1 ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОРОГЕННЫХ ПОЯСОВ ЮЖНОГО И ВОСТОЧНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОГО КРАТОНА

Сибирский кратон представляет собой жесткую раннедокембрийскую структуру, обрамленную разновозрастными складчатыми поясами, которые возникли в период от неопротерозоя до позднего мезозоя. Каждый из этих поясов является весьма продуктивным на золото. Стабильное положение кратона с мезопротерозоя привело к его окружению пассивными континентальными окраинами, развитие которых шло двумя путями. На современном южном фланге кратонной окраины мезо-неопротерозойская пассивная окраина сменилась задуговыми бассейнами в венде-раннем палеозое, на восточном краю обстановка пассивной окраины существовала вплоть до конца мезозоя. В дальнейшем, южный и юго-западный фланги наращивались за счет причленения подвижных поясов каледонид, герцинид и мезозоид с формированием золоторудных поясов соответствующего возраста, а на восточном фланге выдающаяся золотоносность была сформирована практически в один позднемезозойский этап.

1.1 Региональная позиция

Сибирский кратон представляет собой жесткую раннедокембрийскую структуру, окруженную складчатыми поясами в соответствии с рисунком 1, возникшими в интервале неопротерозоя-палеозоя (южный фланг) до палеозоя-позднего мезозоя (восточный фланг). Они возникли на месте крупных морских бассейнов пассивной окраины Сибирского континента, существовавших в неопротерозое-раннем палеозое на юге в современных координатах и в неопротерозое-начале позднего мезозоя на востоке [19]. Важнейшей чертой этих структур является то, что они вмещают крупнейшие месторождения золота России Сухой Лог, Наталка, Нежданинское.

Месторождение Сухой Лог расположено в центральной части Байкало-Патомского нагорья и приурочено к периклинальной части субширотной Сухоложской антиклинали, составной части Бодайбинского синклинория [16]. Ядро антиклинали сложено терригенно-углеродистыми отложениями хомолхинской свиты, на крыльях — терригенно-известковистые породы имняхской свиты. Породы претерпели метаморфизм хлорит-серицитовый субфации зеленосланцевой фации. Рудовмещающей является зона рассланцевания и интенсивных пластических деформаций, развивающаяся по тонкозернистым породам хомолхинской свиты. Промышленное прожилково-вкрапленное золотосульфидное оруденение представлено крупной рудной зоной ленточного типа северо-западного простирания и северо-восточного падения протяженностью около 4 км,

локализованной в замке сильно сжатой антиклинальной складки. Магматизм в пределах месторождения не проявлен. Ближайшее тело гранитов – Константиновский шток (поздний карбон-ранняя пермь) расположен в 6 км южнее месторождения.

Рудная залежь состоит из вкрапленного сульфидного (преобладает пирит) оруденения в сочетании с прожилковым сульфидно-кварцевым оруденением и с поздними золотоносными кварцевыми жилами. Руды формировались в два этапа каледонский и герцинский [63]. Они представлены главным образом ассоциацией: пирит (4 генерации), в меньшей степени арсенопирит, пирротин, кварц, серицит, железо-магнезиальные карбонаты. Структурные особенности пород деформированного ядра антиклинали указывают на многократное проявление деформаций. Углеродистое вещество рассеяно во всей массе пород, а также концентрируется в промежутках между минералами либо по кливажным трещинам, образует микровкрапленность в пиритах, формируя их сотовую структуру, его количество достигает 5% [30]. Ранние генерации пирита (ру-I; -II), отделены от рудоносного ру-III, этапом метаморфических преобразований на котором происходило формирование пирротина в условиях зеленосланцевого метаморфизма [71]. Выявленные отличия ру-IV указывают на то, что пострудная минерализация, включая кварцевые жилы, формировалась из флюида с отличающимися физико-химическими характеристиками [14].

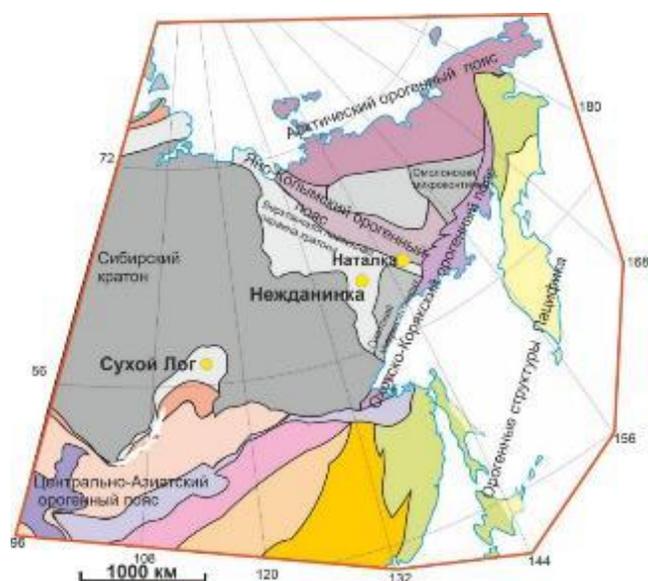


Рисунок 1 - Позиция крупнейших месторождений золота России в структурах обрамления Сибирского кратона

Морфологические, геохимические и изотопные характеристики выявленных генераций сульфидов железа месторождения Сухой Лог, Голец Высочайший и Угахан отражают единую эволюцию рудообразующей системы во время их формирования.

Новые данные показали важную роль пирита как индикатора условий формирования рудной минерализации, который характеризуется полной однотипностью генераций, несмотря на несколько разное геологическое положение месторождений [14]. Это подтверждается сравнением с ранее изученными объектами не только в минералогических данных, но и по новым результатам аргон-аргонового датирования фракций пирита [22].

Наталка является крупнейшим месторождением золота на Северо-Востоке России, занимая второе место по запасам среди Российских месторождений. Месторождение локализовано в пермских терригенных отложениях Аян-Юрхского антиклинория юго-восточного фланга Яно-Колымского орогенного пояса смятых в крупно-амплитудные складки. Они рассечены продольными разломами и серией даек дорудных лампрофиров и гранит-порфиров. Ar-Ag датирование по серициту измененных даек показало 135 млн лет [39]. Попытка прямого датирования руд [4] не позволила получить надежных датировок, определив возможный интервал рудообразования 136-132 млн лет. Оруденение месторождения сконцентрировано в едином крупном 4×1 км теле, прослеженном на глубину более 500 м. Руды представляют собой сочетание прожилковых зон сульфидно-кварцевой минерализации мощностью 2-25 м и протяженностью 100-500 м с ареалом вкрапленной пирит-арсенопиритовой минерализации (1-10% сульфидов). Собственно, структура месторождения сформирована в два этапа: (1) ранний орогенного поднятия и формирования разломов с взбросо-надвиговой кинематикой, и (2) поздний орогенного расширения со сбросо-сдвиговыми движениями по разломам. Минеральный состав руд достаточно простой, минералы жил и метасоматитов – кварц, серицит, хлорит, кальцит и рудные минералы – пирит, арсенопирит, пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит, шеелит, золото (пробностью 497-814‰), реже встречены тетраэдрит (5.7-18.6% Ag), Со-арсенопирит и кобальтин [21]. Указанные особенности позволяют считать это месторождение типично орогенным. Следует отметить также наличие в пределах рудного поля, вероятно поздней, антимонитовой минерализации, проявленной в кислой дайке [21] на фланге месторождения. Околорудные метасоматиты представлены во внешних зонах хлорит-карбонатными, во внутренних – серицит-кварцевыми и альбит-кварцевыми метасоматитами. Данные по геохимии редких земель и изучению флюидных включений предполагают формирование руд из существенно магматического источника при небольшом вкладе метаморфических флюидов [23].

Нежданинское месторождение входит в пятерку крупнейших месторождений золота России по запасам. Оно расположено на западе Охотско-Корякского орогена в позднеюрской-раннемеловой Аллах-Юньской металлогенической зоне. Нежданинское месторождение локализовано в северной части Южно-Верхоянского сектора

Верхоянского складчато-надвигового пояса в тылу Удско-Мургальской (J_3-K_1) окраинно-континентальной дуги. Верхоянский складчато-надвиговой пояс залегает на архейско-протерозойском фундаменте, перекрытом терригенно-карбонатными отложениями протерозоя – палеозоя и мезозоя, слагающими пассивную окраину Сибирского кратона. Структура месторождения Нежданинское определяется линейной брахиантиклиналью ССВ простирания в сочетании с региональным Кидерикинским разломом близкой ориентировки. Вмещающие породы представлены нижнепермскими алевролитами и песчаниками метаморфизованными до уровня начальных ступеней зеленосланцевой фации метаморфизма. В пределах рудных зон они изменены с развитием серицита, хлорита, кварца, анкерита. В пределах рудного поля зафиксировано два этапа магматизма: (1) раннемеловой (дайки лампрофиров и диорит-порфириров и небольшие тела гранитов на заметном удалении с датами ~ 121 млн. лет, циркон, U-Pb (ID-TIMS) и 122 млн лет [67]; (2) позднемеловой в виде небольших интрузивов диорит-гранодиорит-гранитного состава с датой 94 млн. лет, циркон U-Pb (ID-TIMS) [56]. Согласно А.В.Прокопьеву [46] возраст метаморфических приразломных образований близок первому этапу магматизма и составляет 120–119 Ма, по данным Ar-Ar датирования, что совпадает с результатами Rb-Sr датирования кварца [58].

Главным рудным телом месторождения является минерализованная зона №1, сложенная тектонически переработанными осадочными породами с вкрапленным пирит-арсенопиритовым и прожилково-вкрапленным оруденения с линзой метасоматического кварца в осевой зоне и оперяющими кварцевыми жилами с богатым золотым оруденением. Формирование месторождения Нежданинское происходило в три этапа: (1) метаморфогенный, кварц-карбонатных слабо золотоносных жил, (2) главный этап формирования пирит-арсенопиритовой вкрапленной и золото-кварцевой прожилково-жилльной минерализации, (3) этап наложения серебро-полиметаллической минерализации с низкопробным золотом и перекристаллизованным кварцем. Данные по изучению флюидного режима минералообразования, изотопный состав O, C, S, Pb, а также по геохимии редких и редкоземельных элементов свидетельствуют об участии в рудообразовании магматических и метаморфических источников [11, 55].

Таким образом, даже при краткой характеристике этих крупных объектов, отчетливо выявляется сложная история формирования независимо от времени их образования. Эта история разбивается, на три этапа: (1) доорогенный – формирования осадочных рудовмещающих толщ, (2) главный орогенный и (3) второстепенный этап наложенного орогенного события.

1.2 До-орогенная история

Стабильное положение кратона с мезопротерозоя привело к его окружению пассивными континентальными окраинами, развитие которых шло двумя путями. На современном южном фланге кратонной окраины мезо-неопротерозойская пассивная окраина сменилась задуговыми бассейнами в конце неопротерозоя [12, 13], на восточном краю обстановка пассивной окраины существовала вплоть до конца мезозоя, в сочетании с позднепалеозойскими и раннемезозойскими задуговыми бассейнами [59].

Байкало-Патомский сектор Саяно-Байкальского орогенного пояса представляет собой деформированный средне-позднепротерозойский-неопротерозойско-раннепалеозойский бассейн пассивной континентальной окраины, на который наложились процессы задугового спрединга в неопротерозое [12]. Это зафиксировано наличием в разрезе черносланцевых горизонтов, обогащенных углеродом (до 10%) и золотом (15-20 мг/т) [38, 68] и горизонтов с вулканомиктовой составляющей [13].

Верхояно-Колымский бассейн пассивной континентальной окраины [59] также характеризуется многочисленными горизонтами раннего-позднего палеозоя, обогащенными золотом (до десятков мг/т) и относительно повышенными концентрациями углерода (до 3-4%) [33]. В пермское время на его восточном (в современных координатах) фланге возник задуговой бассейн Удско-Мургальской дуги, отложениям которого характерно относительно повышенное количество углерода (1-1.5%) [17] и высокое – золота (до 120 мг/т) [37]. Важным фактором, указывающим на задуговую обстановку, является появление в слоях этой части разреза вулканомиктового материала, свидетельствующего о близости дуги.

В результате осадконакопления в разновозрастных бассейнах возникли сходные по генезису горизонты обогащенные углеродом и благородными металлами (прежде всего золотом). Петрохимические и минералогические признаки рудосодержащих пород индицируют формирование благоприятных горизонтов в отложениях пассивных континентальной окраины с добавлением ювенильного вещества в связи с процессами рифтинга (палеопротерозойского и палеозойского) или в результате рассеянного спрединга в задуговых бассейнах (конец неопротерозоя и поздний палеозой).

1.3 Орогенные события, как фактор формирования золотых руд

Палеозойские орогенные события Байкало-Патомского пояса. Расшифровке формирования золотоносных тектонических структур Байкало-Патомского нагорья посвящена обширная литература [6, 8, 9, 12, 32, 42] анализ которой позволяет предложить следующую модель орогенных событий формирования это весьма богатой золотом

провинции. Проведенные геохронологические исследования [3, 31] выделяют два этапа орогенеза в ее пределах. Ранний, главный и собственно коллизионный, связанный с коллизией Муйского микроконтинента (кратонного террейна) фиксируется в проявлении регионального Мамского плутоно-метаморфического пояса с метаморфизмом амфиболитовой (до гранулитовой) фации приведшим к формированию пояса мигматит-гранитов, датированных уран-свинцовым методом 447 млн лет [31]. Именно по флангам этого пояса и над его погруженной частью концентрируется главное золотое оруденение орогенного типа в соответствии с рисунком 2. Поздний этап, связанный с формированием в позднем палеозое Ангаро-Витимского батолита, привел к возникновению золото-кварцевого жильного оруденения в пределах крупных месторождений (Сухой Лог, Вернинское), а также в самостоятельных жильных образованиях (Догоалдын). На месторождении Сухой Лог для него получена дата 321 млн лет [58].

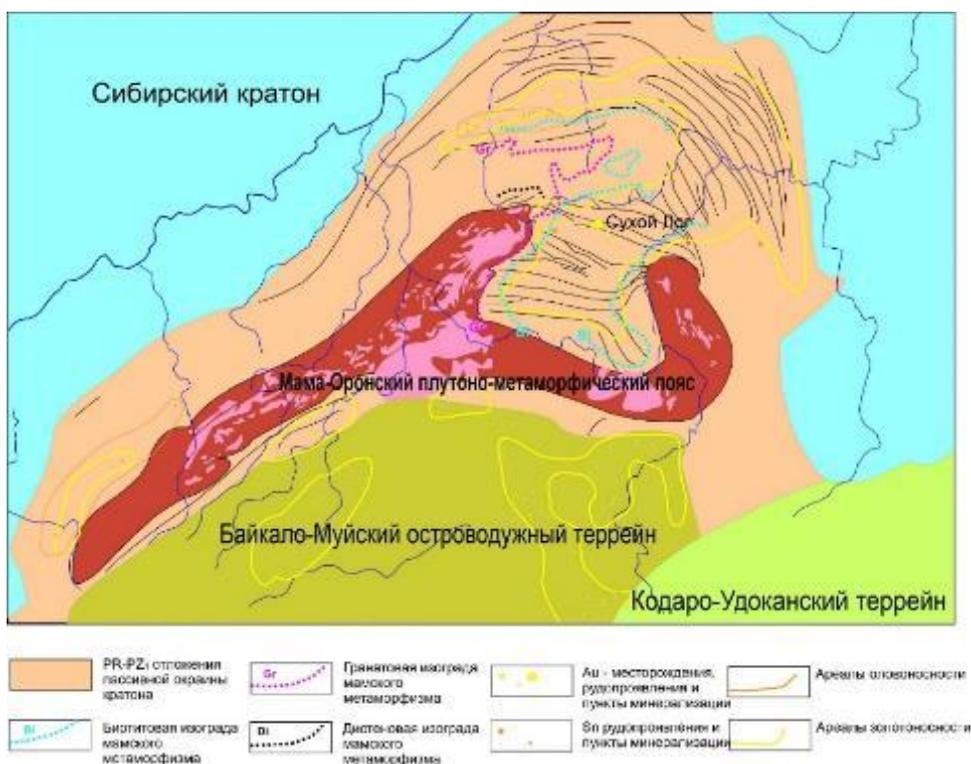


Рисунок 2 - Ассоциация золотого оруденения с плутоно-метаморфическим Мамско-Оронским поясом в Бодайбинском районе, [22, 28] с дополнениями и изменениями

Мезозойские орогенные события Верхояно-Колымского пояса. Крупнейшие месторождения орогенного золота Верхояно-Колымского пояса, равно как и большинство других золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений и рудопроявлений располагаются в зоне проявления фации зеленосланцевого метаморфизма орогенных плутоно-метаморфических поясов [29] в соответствии с рисунком 3 разного

возраста (позднеюрско-раннемелового – Наталка, Павлик и большинство месторождений Яно-Колымского пояса и мелового – Нежданинка, Ветренское и золото-сурьмяные Сарылах и прочие) [22]. Согласно современным датировкам [28, 65] золотое оруденение орогенного типа формировалось в два этапа 150-135 млн лет и 130-116 млн лет, что отвечает главным орогенным событиям Яно-Колымского и Охотско-Корякского орогенных поясов. Время формирования главной стадии орогенного золота после внедрения коллизионных гранитов (пик 150 млн лет – [54]) предполагает формирование основного оруденения на фоне остывания региональной плутоно-метаморфической системы, в то время как позднее оруденение тесно связано с процессами приразломного зонального метаморфизма, отвечающего орогенному событию на прилегающих территориях Охотско-Корякского орогенного пояса.

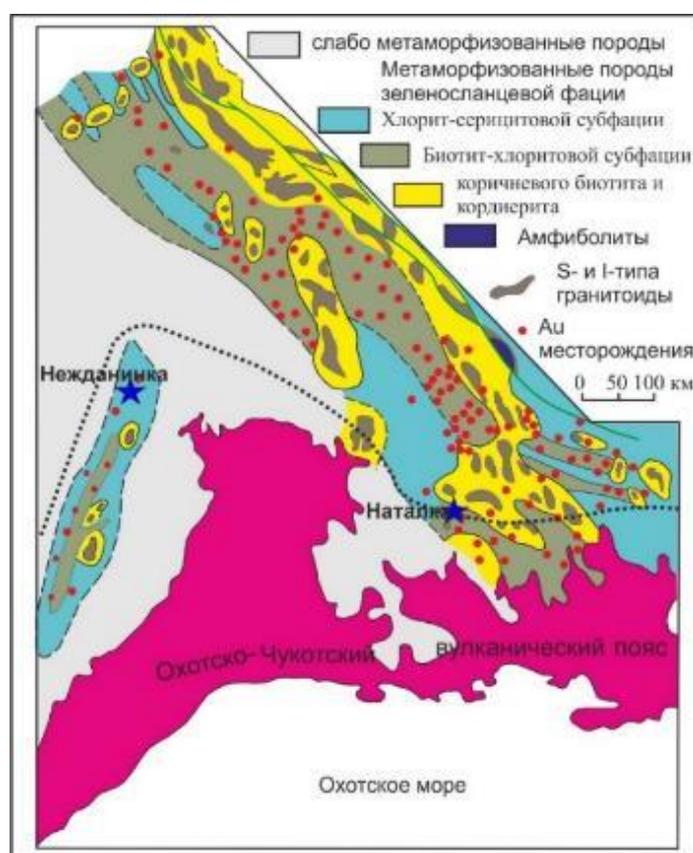


Рисунок 3 - Ассоциация золотого оруденения с плутоно-метаморфическими поясами Верхояно-Колымской складчатой системы [22, 28]

1.4 Общие и отличительные черты орогенной минерализации разного возраста

Обстановки формирования осадочных толщ в бассейнах пассивной окраины континента с переходом в задуговые на финальной стадии их существования, приводят к накоплению благородных металлов в осадочных рудовмещающих толщах, что

свидетельствует об их важной роли как источника металла. В орогенной истории золотое оруденение формировалось в два этапа: ранний и главный – возникновение региональной плутоно-метаморфической системы [4], с формированием золоторудной минерализации на регрессивной стадии ее существования, и поздний – соответствующий проявлению орогенных событий в прилегающих структурах также с формированием золотого оруденения орогенного типа [17]. С ним связано проявление поздних этапов благороднометалльного оруденения в крупных рудных месторождениях.

Важной особенностью орогенных структур является широкое (региональное) распространение пиритовой минерализации, тесно связанной с формированием золотого оруденения [14, 15, 24, 27, 49, 52, 62, 690, 72]. Для рассмотренных регионов установлено одинаковое количество генераций пирита, соответствующее эволюции складчатых структур (пирит седиментационный, метаморфогенно-катагенный и метаморфогенно-рудный), за исключением позднего пирита проявленного в Бодайбинском синклинии, и их близкие типоморфные особенности (состав, термоэлектрические свойства) [24, 49, 53, 72]. Следовательно, несмотря на разное региональное нахождение и возраст окраинно-платформенных золотоносных складчатых поясов, они характеризуются общими чертами проявления золотого оруденения орогенного типа.

Отличия фиксируются в разной минералого-геохимической специализации орогенных руд. Более широкое развитие минералов As и Sb в месторождениях восточного фланга, вероятно, обусловленное общей зараженностью рудовмещающих толщ этими элементами [25]. С другой стороны, четкая локализация поздних золото-сурьмяных и золотых орогенных месторождений в Яно-Колымском поясе в зонах крупных сквозькоровых разломов [33] предполагает и влияние активизированной мантии на эти процессы.

По материалам полученным в результате этих исследований были подготовлены следующие научные публикации:

1. Горячев Н.А., Будяк А.Е., Михалицына Т.И., Тарасова Ю.И., Горячев И.Н., Соцкая О.Т. Эволюция орогенного золотого оруденения в структурах южного и восточного обрамления Сибирского кратона // Науки о Земле и недропользование. – 2023. - №46 (4). – 374-389.
2. Горячев Н. А., Фридовский В. Ю., Будяк А. Е., Горячев И. Н., Ефремов С. В., Кудрин М. В., Тарасова Ю. И. Роль металлогенических исследований в прогнозе перспективных территорий. От моделей к объектам // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93. - № 7. - с. 614–622.

3. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И., Горячев Н.А., Блинов А.В., Игнатъев А.В., Веливецкая Т.А., Абрамова В.Д., Щербаков Ю.Д. Рудная минерализация месторождения Ожерелье: сопоставление с объектами “Сухоложского” типа // Доклады Российской академии наук. 2023. Т. 509. №2. С. 199-207. DOI: [10.31857/S268673972260223X](https://doi.org/10.31857/S268673972260223X)
4. Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Стадийность формирования рудной зоны месторождения Холоднинское (Байкало-Патомское нагорье) // Науки о земле и недропользование. - 2023. - Т. 46. - № 2. - С. 201 – 212 <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-201-211>
5. Будяк А. Е., Тарасова Ю. И., Горячев Н. А., Чачанагова О. И., Лычагин М. А., Очиржапова С. М., Анохина А. Ю. Роль органического вещества в процессе рудообразования месторождений «Сухоложского» типа на примере месторождения Угахан (Бодайбинский район) // Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. - 2023. - С. 99 – 102
6. Тарасова Ю. И., Будяк А. Е., Горячев Н. А., Будяк А. А., Жарикова А. А., Черкашина Д. А. Минералогический состав рудной зоны месторождения Угахан (Бодайбинский район) // Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. - 2023. - С. 510 – 513
7. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И. Стадийность формирования месторождений орогенного типа северного Прибайкалья (на примере месторождения Ыкан) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) 2023. – В. 21. - С. 21–23
8. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И, Чугаев А.В., Горячев Н.А., Веливецкая Т.А., Игнатъев А.В. Особенности формирования золоторудной минерализации в условиях амфиболитовой фации метаморфизма: месторождение Ыкан (Байкало-Патомский пояс) // Тихоокеанская геология. 2024.
9. Будяк А.Е., Чугаев А.В., Тарасова Ю.И, Горячев Н.А., Блинов А.В., Абрамова В.Д., Рассохина И.В., Реутский В.Н., Игнатъев А.В., Веливецкая Т.А., Ванин В.А. Геолого-минералогические и геохимические особенности золоторудного месторождения Угахан «Сухоложского» типа (Байкало-Патомское нагорье) // Геология и геофизика. 2024. doi: [10.15372/GiG2023132](https://doi.org/10.15372/GiG2023132)

РАЗДЕЛ 2 ЗОЛОТОРУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И СОПРОВОЖДАЮЩИЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ШОВНОЙ ЗОНЫ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ШВА С УДАЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ ОЛЕКМА-ШИЛКИНСКОГО ВОДРАЗДЕЛА

Согласно плану работ НИР на 2023 год было выполнено сравнение золоторудной минерализации зоны Монголо-Охотского шва и Олекма-Шилкинского водораздела. В качестве объектов исследования были выбраны Карийский и Мостовский рудные узлы.

Учитывая то, что в обоих случаях источником рудоносных флюидов и рудных элементов рассматриваются массивы гранитоидов Амуджикано-Сретинского комплекса, была сделана попытка определить сходство и различие рудных объектов в пределах рассматриваемых регионов на базе анализа стадийности процесса рудообразования, с использованием результатов петрографического, минераграфического, минералогического изучения рудных образцов, дополненное результатами геохимических съемок.

При проведении исследований в пределах Карийского рудного узла было выделено два этапа рудообразования, разделенные во времени тектоническим событием. В пределах первого этапа установлены кварц-магнетитовая, кварц-вольфрамит-молибденитовая, карбонатная-сидеритовая стадии минерализации. Проявления этой минерализации имеют структурный контроль, тяготеют к апикальным выступам Кара-Чачинского массива амуджикано-сретинского комплекса в соответствии с рисунком 4, развиты ограничено. Основным полезным ископаемым является молибден, отмечается присутствие вольфрама, меди и полное отсутствие золота.

Минеральные ассоциации второго рудного этапа наложены на ассоциации первого этапа минерализации с интенсивным окolorудным метасоматозом, кристаллизацией биотита, актинолитизацией амфибола, появлением тел турмалинитов и кварц-турмалиновых жил. В пределах второго рудного этапа выделяются: кварц-пирит-турмалиновая, кварц-молибденит-шеелитовая с золотом, пирит-халькопирит-сульфоарсенидная, золото-висмутотеллуридная стадии минерализации. Основными полезными компонентами этого этапа являются медь, молибден и вольфрам, а главным полезным ископаемым — золото. Золото присутствует в двух стадиях минерализации, высокопробное с кварц-молибденит-шеелитовой минерализацией и низкопробное с теллуридами висмута свинца и серебра.

Все рудные объекты связанные с этим этапом рудообразования имеют структурный контроль. Они приурочены к зоне кольцевых разломов, фиксирующих границы нескрытого магматического очага.

В целом, главные рудные элементы в пределах обоих этапов рудообразования совпадают, это молибден, медь и вольфрам, отражая, скорее всего, металлогеническую специфику гранитоидного комплекса. Золото появляется вместе с бором, ассоциируя с синрудной бимодальной дайковой серией [50], фиксирующей вскрытие глубинной магматической камеры и свидетельствующее о ремобилизации разломов сквозь литосферного заложения и поступлении вещества из мантии Земли.

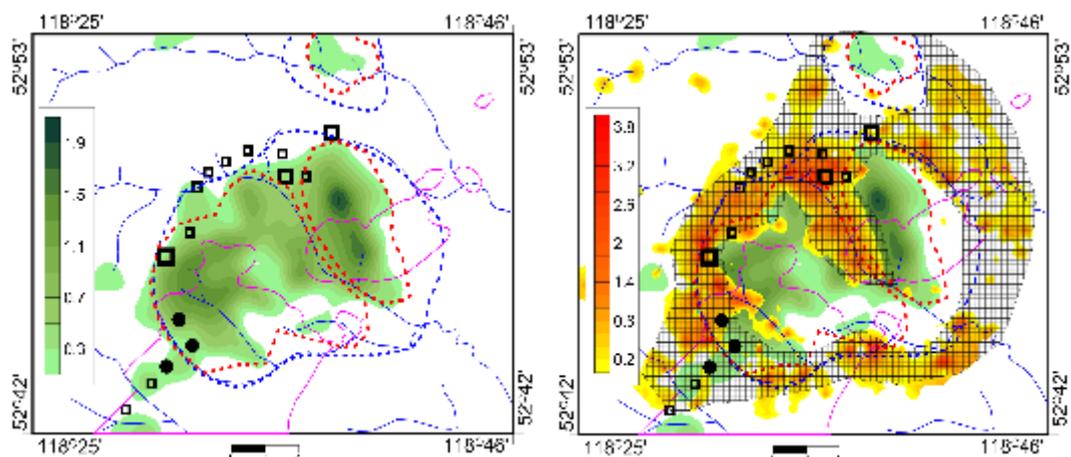


Рисунок 4 - Карийский рудный узел

а - Купольная система Cu-Mo минерализация. б - Cu-Mo-Au минерализация. Синей пунктирной линией обозначена зона кольцевых разломов, ограничивающих контур нескрытого магматического очага. Красные пунктирные линии — купольные выступы в пределах ундулирующей кровли магматического очага. Розовые линии — границы массивов амуджикано-сретинского комплекса. Незалитые квадраты — рудные объекты золота. Залитый круг — рудные объекты молибдена. Вертикальной и горизонтальной штриховкой обозначена проницаемая зона ремобилизованная при тектоническом событии разделяющим этапы рудообразования.

В пределах Мостовской площади, также выделяется два этапа рудообразования. В пределах первого этапа установлены альбитовая; калишпат-биотитовая; хлорит-эпидот-мусковитовая; пирротин-пирит-халькопирит-молибденит-сфалеритовая с шеелитом; галенитовая (полиметаллическая?) и карбонатная стадии минерализации. Минерализация имеет структурный контроль.

Она расположена в зонах метасоматических преобразований, в пределах куполов гранитоидов олекминского комплекса, над не вскрытыми купольными выступами гранитоидов амуджикано-сретинского комплекса в соответствии с рисунком 5. Главными полезными компонентами этого этапа являются молибден, медь и в меньшей части вольфрам.

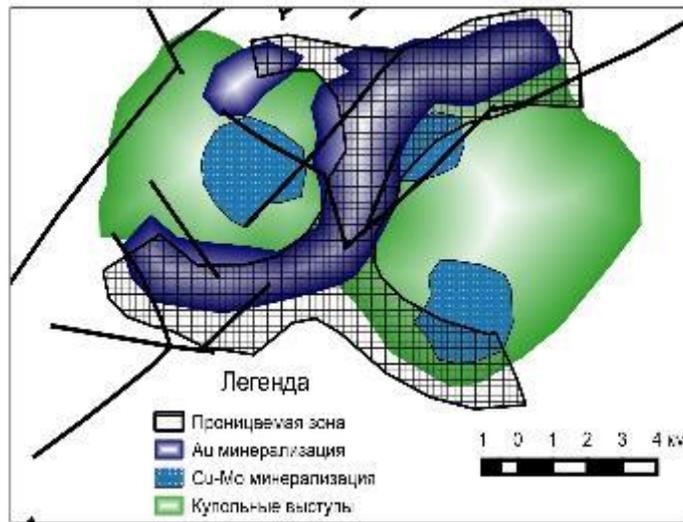


Рисунок 5 - Мостовская площадь. Купольная система Cu-Mo и Cu-Mo-Au минерализация

Второй этап рудообразования наложен на первый с интенсивными процессами преобразования. Выделяются следующие стадии минерализации: биотит-магнетит-апатит-ортит-циркон-рутиловая; хлорит-мусковит-турмалиновая; пирит-молибденит-халькопиритовая с шеелитом; галенит-сфалерит-серебротеллуридная с золотом; карбонатная. Минерализация этого этапа имеет структурный контроль. Она приурочена к «X-образной» проницаемой зоне, расположенной на границе двух купольных выступов гранитоидов олекминского комплекса, над не вскрытым гребнем интрузии амуджикано-сретинского комплекса. В этой зоне также широко развиты дайки гибридных порфиров, гранит-порфиров, лампрофиров относимых к указанному выше гранитоидному комплексу.

Главными полезными компонентами этого этапа рудообразования являются молибден, медь, в меньшей части вольфрам. Главным полезным ископаемым является золото. Золото является низкопробным и выделено в пределах низкотемпературной гидротермальной галенит-сфалерит-серебротеллуридной стадии минерализации.

Как и в пределах Карийского рудного узла, золото тесно ассоциирует с бором, бимодальной дайковой серией, относимой к амуджикано-сретинскому комплексу, его минерализация контролируется ремобилизованными разрывными структурами над не вскрытым магматическим очагом гранитоидов амуджикано сретинского комплекса.

Не смотря на разный набор рудных минералов в выделенных ассоциациях рассматриваемых районов, набор главных полезных компонентов (молибден, медь и вольфрам, с добавлением золота) и последовательность их выделения остаются постоянными. Минерализация первого рудного этапа сменяется минерализацией второго рудного этапа после интенсивной ремобилизации тектонических структур.

Проведенный выше анализ показал, что золоторудные объекты в пределах зоны Монголо-Охотского шва и Олекма-Шилкинского водораздела практически аналогичны друг другу. Им свойственен контроль одним магматическим комплексом/близкий геологический возраст, аналогичный набор полезных компонентов и последовательность эволюции процесса рудообразования. Их появление должно быть связано с единым геологическим процессом, наложенным на два различных геологических блока.

Также в Забайкальском сегменте МООП в рамках продолжающихся исследований Карийского рудного узла, была проведена апробация методического подхода к расшифровке эволюции рудно-магматических систем (РМС), основанного на изучении геохимических полей, связанных с различными этапами эволюции магматического очага, сопровождающегося рудной минерализацией. Установлено, что в пределах Карийского узла редкометалльная РМС, сформированная в два этапа. Главным полезным компонентом первого этапа РМС был Мо, минерализация второго этапа также была редкометалльной с W, Mo и Au. Установлено, что накопление Au происходит при наложении одной стадии минерализации на другую.

По материалам полученным в результате этих исследований были подготовлены следующие научные публикации:

1. Sinyakova E.F., Goryachev N.A., Kokh K.A., Karmanov N.S., Gusev V.A. The Role of Te, As, Bi, and Sb in the Noble Metals (Pt, Pd, Au, Ag) and Microphases during Crystallization of a Cu-Fe-S Melt // Minerals. – 2023. - 13(9). – 150. <https://doi.org/10.3390/min13091150>

2. Ефремов С.В., Горячев А.Н., Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Блинов А.В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) 2023. – В. 21. - С. 100–102

3. Бадмацыренова Р.А. Геохимические особенности магнетита и ильменита Кручининского месторождения, Восточное Забайкалье, Россия // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал: Материалы VIII Всеросс. конф. с междунар. участием. Новосибирск / Ин-т геол. и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН – Новосибирск: ИПЦ НГУ. - 2023. - С. 14-16.

4. Damdinov B. B., Khubanov V. B., Goryachev N. A., Damdinova L. B., and Izvekova A. D. Composition and Age of Atypical Zircon–Titanomagnetite Ores of the Tret'yakovskoe Gold–Fluorite Deposit, West Transbaikal // Doklady Earth Sciences. 2024. DOI: 10.1134/S1028334X23602614

РАЗДЕЛ 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ БАЛЕЙСКОГО РАЙОНА (СРЕДНЕ-ГОЛГОТАЙСКОЕ И ВЕРХНЕ АЛИИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Рассматриваемое в ходе проведенного исследования рудопроявление Рябоконь входит в состав Мунгинского рудного узла одного из месторождений Восточного Забайкалья, которое расположено на юго-восточном фланге Балейского рудного района в соответствии с рисунком 6, где известны золоторудные мезотермальные месторождения Сосновское, Майское, Средне-Голготайское и Казаковское, а также крупнейшее эпитептермальное месторождение региона Балейское [1, 2, 7, 26, 60].

Мунгинский рудный узел Балейского рудного района, включающий золоторудное месторождение Верхне Алиинское и рудопроявления Рябоконь в соответствии с рисунками 6, 7, расположен в нескольких десятках километров восточнее г. Балей. Эти объекты относятся к месторождениям золото-кварц-сульфидного типа [18, 20, 36, 40, 41, 47]. В геологическом строении Мунгинского рудного узла принимают участие палеозойские осадочные отложения, мезозойские вулканогенно-осадочные образования, интрузивные образования позднепалеозойского ундинского и средне-позднеюрского шахтаминского комплексов [5, 48, 57]. В его составе главным является Верхне Алиинское одно месторождений, образование которого связывается с процессами формирования позднеюрской кольцевой вулcano-плутонической структуры [10, 35, 45]. На месторождении известны три рудоносные зоны: Западная, Широтная и Восточная, протяженность которых достигает 1 км при мощности от 0,2 до 11 м. Простираение зон субширотное, северо-западное или северо-восточное с крутым падением на юг, северо-запад или юго-восток. На западном фланге месторождения Верхне Алиинское известна серия рудопроявлений (Рябоконь, Ново-Мунгинское и Глазковское), которые ранее были отнесены к Ново-Мунгинскому объекту [34, 50, 51]. Одним из перспективных участков этого рудопроявления Рябоконь является жильная система в соответствии с рисунком 8, которая представляет собой протяженное до 200 м рудное тело арсенопирит-пирит-турмалин-кварцевого состава северо-восточного простираения с продуктивной частью около 160 м, локализованное в гранитах третьей фазы ундинского комплекса, рассеченных дайками позднемезозойских порфириров.

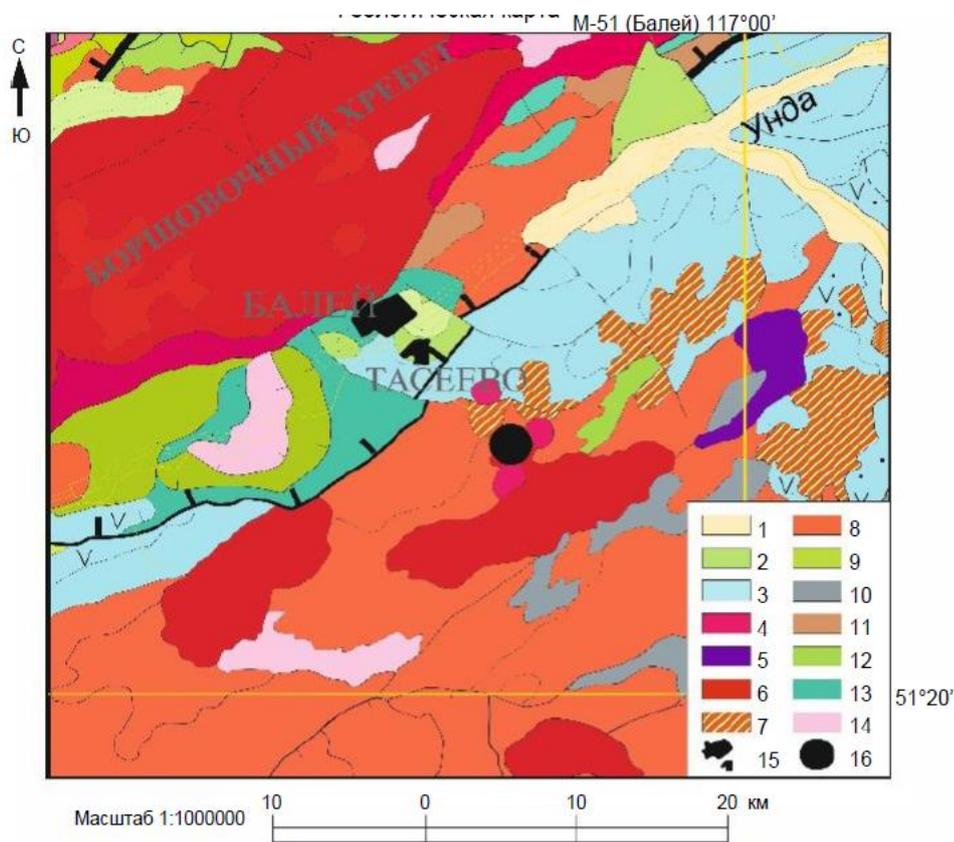


Рисунок 6 - Геологическая позиция рудопроявления

1–5: средне-позднеюрские отложения: 1 – ундино-даинский, нерчинский, шадаронский, приаргунский, мулинский вулканические комплексы, 2 – субвулканические образования шадаронской, приаргунской, мулинской серий, тела и дайки, 3 – шахтаминский комплекс монцодиорит-гранодиорит-гранитовый, 4 – борщовочный комплекс гранитовый, 5 – акадуйский комплекс монцонит-сиенитовый; 6 – отложения раннего карбона: ямкунская серия; 7 – отложения раннего девона: ложковский ярус, макаровская толща; 8 – отложения ранней перми: ундинский комплекс гранит-гранодиоритовый; 9, 10 – ранний протерозой: 9 – чонгульский комплекс габбровый, 10 – ишагинский комплекс метаморфический; 11 – средний палеозой: агинско-борщовочный комплекс динамометаморфический, зеленосланцевый подкомплекс, филлонитовый подкомплекс; 12 – ранний мел: тургинская свита; 13 – квартал, голоцен: аллювиальные отложения пойм; 14 – ранний протерозой: урульгинский комплекс метаморфический; 15 – контуры населенных пунктов; 16 – месторождение Верхне-Алиинское

Мощность рудного тела составляет 15 м. Оно сопровождается ареалом метасоматитов серицит-кварцевого состава, ширина выхода которого варьирует от 2 до 25 м. По данным бурения промышленное оруденение прослежено на глубину до 100 м. В строении рудного тела выделяются три морфологически различные части: юго-западный фланг в виде стволовой жилы с зоной прожилково-вкрапленной минерализации; центральная, самая продуктивная часть, представляющая собой систему субпараллельных жил линзовидной формы; апофизы от центральной жилы, формирующие линейную штокверкоподобную зону протяженностью до 150 м. Северо-восточный фланг представлен двумя субпараллельными жилами с невысокой продуктивностью.

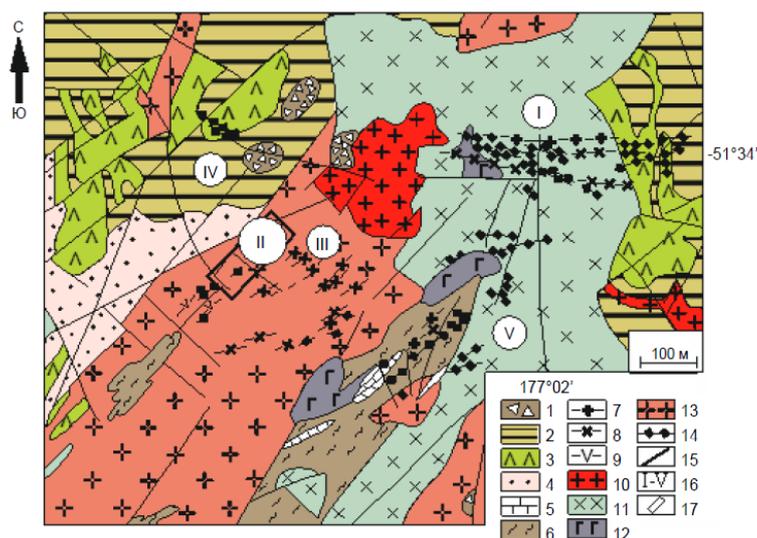


Рисунок 7 - Западный фланг Верхне Алиинского месторождения

1 – (J_3) флюидно-эксплозивные брекчии; 2 – (J_{2-3}) вулканогенные отложения шадаронской серии: андезиты, андезито-базальты, андезито-дациты, трахидациты, брекчии, лавы, туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты, гравелиты, дресвяники; 3 – (J_{2-3}) эффузивы шадаронской серии: андезито-базальты, андезиты, дациты; 4 – (J_2) осадочные отложения верхнегазимурской свиты: конгломераты, дресвяники, песчаники, алевролиты, туфы кислого состава; 5, 6 – (C_1) осадочные отложения верхнегазимурской свиты: 5 – мраморизованные известняки, 6 – кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы; 7–9 – (J_{2-3}) шахтаминский комплекс: 7 – дайки гранит-порфиров, 8 – дайки диоритовых порфиров, 9 – дайки лампрофиров; 10 – гранит-порфиры; 11 – монцититы, сиениты; 12 – габбро, перидотиты; 13 – гранитоиды ундинского комплекса (C); 14 – золотоносные кварцево-сульфидные жилы; 15 – тектонические нарушения; 16 – Верхне-Алиинское месторождение (I) и рудопроявления Рябоконь (II), Ново-Мунгинское (III), Мунгинское (IV), Глазкинское (V); 17 – контур жилы Рябоконь

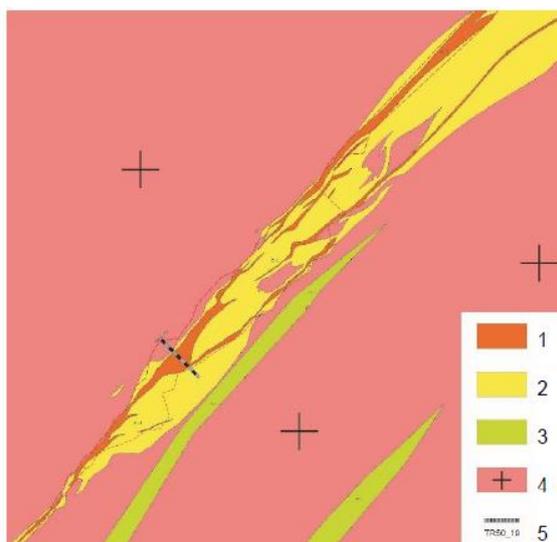


Рисунок 8 - Геологическая карта рудопроявления Рябоконь (западный фланг Верхне-Алиинского месторождения)

1 – кварц-турмалин сульфидные жилы и прожилки; 2 – метасоматиты серицит-кварцевого состава; 3 – дайки диоритовых порфиров; 4 – граниты ундинского комплекса; 5 – сечение траншеи

3.1 Результаты исследования

По данным петрографического и минераграфического изучения руд и по результатам рентгеноструктурного анализа определено, что основными минералами, слагающими пробу руды, являются (в порядке убывания количества): кварц, скородит, турмалин, арсенопирит, слюда (мусковит, серицит) и пирит – 2 %, кроме того, присутствуют халькопирит, единичные зерна самородного золота, пирротина, галенита, минералов висмута, ковеллин и ряд гидроксидов железа в соответствии с рисунком 9. Руды умеренносульфидные. Вторичные минералы представлены практически на 89 % скородитом и на 11 % гидроксидами железа. Рудная минерализация сопровождается метасоматитами кварц-турмалин-слюдистого состава в соответствии с рисунком 10.

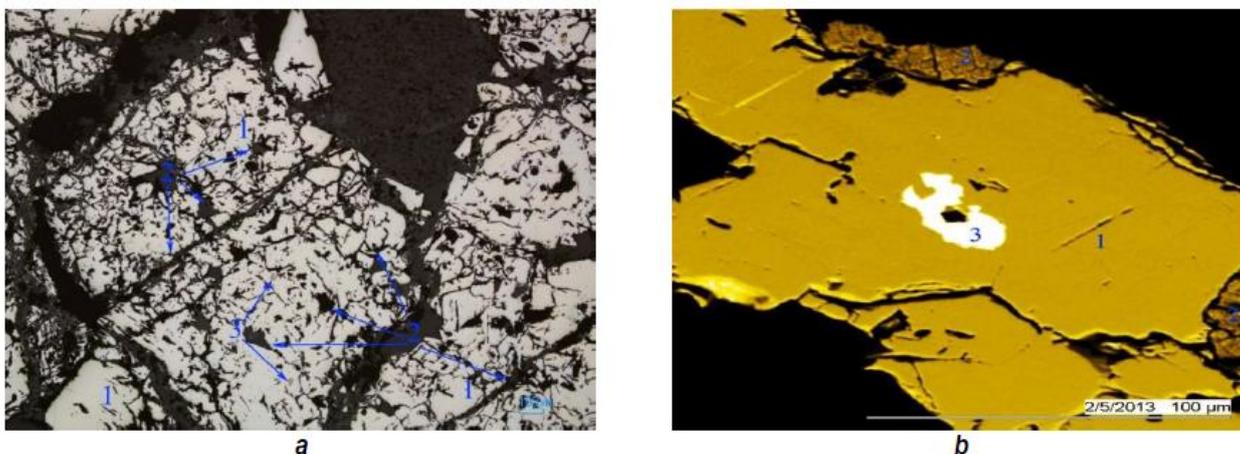


Рисунок 9 - Арсенопирит и редкие минералы в рудах

а – крупные катаклазированные зерна арсенопирита (1) замещаются по краям зерен и микротрещинам скородитом (2), включения халькопирита (3) в арсенопирите. Полированный шлиф. Поляризатор \parallel . б – арсенопирит (1) в сростках с халькопиритом (2) и с микровключением галеновисмутита (3), в халькопирите и галеновисмутите отмечается примесь серебра. Микроанализатор Camebax SX-50. Снимок в обратнорассеянных электронах. Брикетный шлиф.

Данные микроскопического исследования позволяют выделить две ассоциации минералов: раннюю арсенопирит-кварцевую и позднюю пирит-халькопирит-турмалиновую, при чем в последней отмечены реликты раннего пирротина, затем марказит с переходом в пирит.

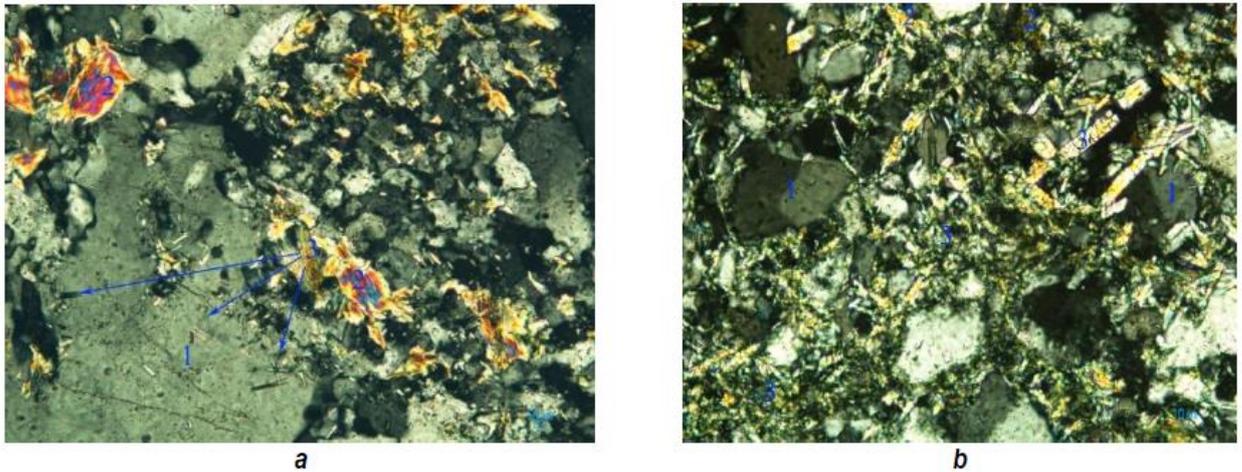


Рисунок 10 - Метасоматиты пятнистой(а), неоднородной (b) микротекстуры, состоящие из выделений разномерного кварца (1), слюды (2) и турмалина (3)

Самородное золото встречается в виде частиц неправильной комковатой, уплощенной, с неровными зазубренными краями, нередко с отростками различной длины, иногда изометричной, реже пластинчатой с пережимами и короткими отростками формы. Микрочастицы самородного золота установлены также в виде включений в арсенопирите, пирите и в качестве реликтов в лимоните и скородите в соответствии с рисунком 11. Пробность золота, по данным атомно-абсорбционного анализа, варьирует в диапазоне от 759 до 770 ‰ По классификации Н.В. Петровской [43, 44] золото соответствует относительно низкопробному классу.

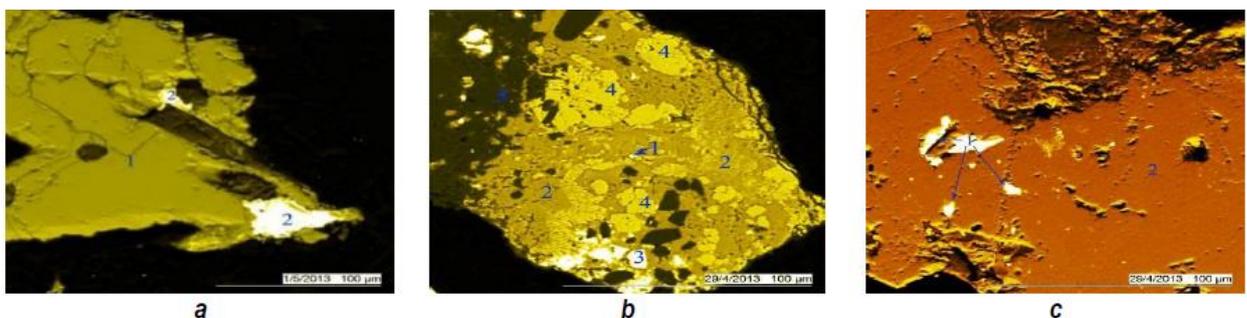


Рисунок 11 - Выделения самородного золота в рудах
 а – в зерне арсенопирита (1) выделения золота (2) размером до 40 мкм; б – золото (1) в агрегате, состоящем из скородита (2), арсенопирита (3), пирита (4) и гидроксидов железа (5); с – вкрапления золота размером от 1 до 20 мкм (1) в зерне пирита (2).
 Микроанализатор Camebax SX-50. Снимок в обратнорассеянных электронах. Брикетные шлифы

3.2 Обсуждение полученных результатов

Сравнивая полученные нами результаты по рудопроявлению с материалами по составу руд месторождения [40, 41], можно отметить, с одной стороны, их близость и однотипность, а с другой – некоторые отличия.

Общими параметрами являются довольно высокая степень сульфидности руд и их сходный химический и минеральный состав с преобладанием арсенопирита и повышенной ролью висмута, преобладание мелкого золота и его сходные морфологические характеристики. Это позволяет рассматривать проявление как составную часть единой рудной системы месторождения. Для руд характерна заметная роль турмалина, в распределении минерализации в составе рудного поля намечается наличие элементов зональности, которая намечается, как по данным источников [1, 2], так и нашими наблюдениям [26] на самом месторождении.

В технологическом плане важным результатом исследования является то, что индикатором окисленности руд выступает форма нахождения мышьяка, а не серы. Равные количества окисленных и первичных сульфидных руд необходимо учитывать при разработке технологической цепочки их переработки. По гранулометрии золота можно сделать выводы, что оно образовано в схожих условиях с кварцем и сульфидами. По размерности золота на месторождении и рудопроявлении можно предположить, что основная его масса была образована на средних глубинах.

По материалам полученным в результате этих исследований была подготовлена следующая научная публикация:

1. Никанюк Т.С. Состав руд и характеристика самородного золота одного из рудопроявлений Восточного Забайкалья // Науки о Земле и недропользование. – 2023. - 46(1). - С.36-50. doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-36-50

РАЗДЕЛ 4 ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Локальный прогноз

Проведение локального прогноза является наиболее распространенным видом прогнозно-минерагенических исследований и иллюстрируется нами в этом разделе на примере ряда районов Забайкальского края и Иркутской области.

Забайкальский край. Локальный прогноз порфирового оруденения в районе Амуджиканского гранитного массива (Восточное Забайкалье). Исходя из наиболее известной локальной модели медно-порфировой рудно-магматической системы, с присущей ей металлогенической и геохимической вертикальной зональностью [66, 70], нами были проведены поисково-оценочные работы в районе Лево-Амуджиканского массива Могочинского района Забайкальского края. Результаты геохимической съемки показаны на в соответствии с рисунком 12.

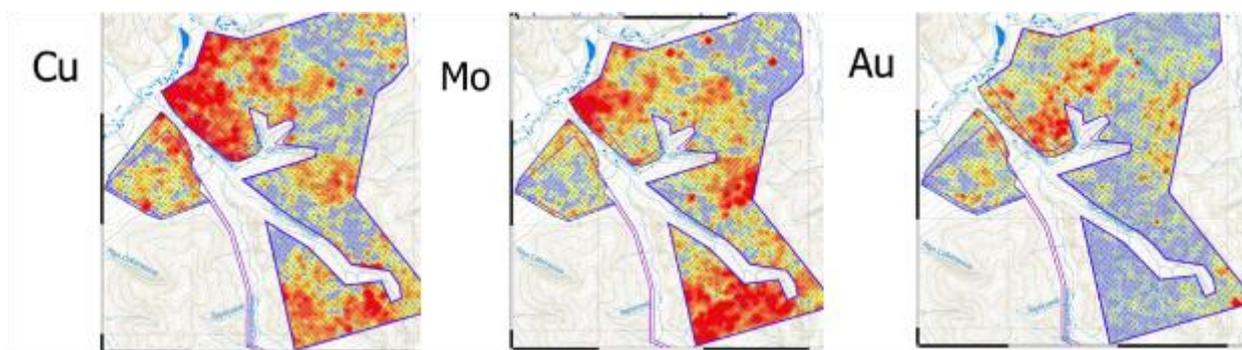


Рисунок 12 - Моноэлементные геохимические аномалии в приконтактовой зоне Лево-Амуджиканского массива
Красное – максимальные значения содержания элементов

Металлогенические реконструкции по результатам геохимической съемки на основе порфировой модели позволили выделить два интрузивных купола с Cu-Mo-порфировой минерализацией в ядрах и золотой на флангах в соответствии с рисунком 5. В зоне, контролирующей золотую минерализацию также установлена вертикальная геохимическая зональность, связанная с разным уровнем эрозионного среза геологических блоков в ее пределах. Прделанная работа позволила оценить перспективы медной и золотой минерализации и дать прогноз на дальнейшие работы.

Иркутская область. Примером применения локальных метаморфогенных металлогенических моделей является модель формирования руд сухоложского типа, основу которой составляют четыре позиции, изложенные ниже по материалам В.А.Буряка и многих исследователей Бодайбинского района [16, 28]: 1. Углеродистые (Сорг до 4 масс. %) терригенно-карбонатные толщи, являющиеся как источником рудного флюида, так и

вещающей матрицей для формирования рудных месторождений; 2. Рудные тела представлены объемными штокверками прожилково-вкрапленной минерализации, с незначительными содержаниями (первые г/т), но крупными запасами (>100т) золота; 3. Наличие структурного (антиклинальные складки 3-го порядка) и литологического (контакт углеродсодержащих филитовидных сланцев с алевролитами) контроля; 4. Однообразный состав рудных минералов – пирит, пиротин, арсенопирит, галенит, реже сфалерит, халькопирит, самородное золото (при этом стадийность формирования рудной минерализации идентична, что связано с одинаковым развитием месторождений в рамках эволюционного развития территории).

Принятая нами концепция заключается в полихронном и полистадийном формировании месторождений: седиментация, катагенез, метаморфизм. I. Предрудные этапы осадконакопление и региональный метаморфизм. Обогащенные органикой и благородными металлами стратиграфические уровни по В.К.Немерову [38]. II. Ранний (основной), связанный с плутонометаморфизмом, и поздний (герцинский магматизм) рудные этапы. Метаморфические преобразования делятся на 2 стадии. Прогрессивный метаморфизм с формированием пирротиновой минерализации (левый рисунок) и собственно рудная, регрессивная стадия с формированием пиритовой минерализации с золотом. Предложенная модель формирования месторождений «сухоложского» типа подтверждена многократно на различных объектах Бодайбинского района: Голец Высочайший, Красный, Светловское рудное поле, Угахан [14, 15, 24, 51, 523, 71, 72]. На примере месторождения Угахан, согласно представленной концепции, была предложена идея о возможном положении оруденения на глубине в лежащем крыле антиклинали. В результате проведенных геофизических и литогеохимических работ выделены перспективные участки, которые позже были заверены буровыми работами. Был получен прирост запасов [6]. Аналогичные прогнозы сделаны по работам на месторождении Красное и участке Батый. В первом случае также были выявлены прогнозируемые тела, во втором случае по результатам заверочного бурения выявлены хорошие промышленные сечения.

Таким образом, академическая наука, разрабатывая фундаментальные основы металлогении, может вносить и более конкретный вклад в решение прогнозно-металлогенических задач.

4.2 Работы по повторному использованию и механохимической переработке хвостов обогащения руд, используемых для извлечения Pb и Zn

Данная работа связана с фактом роста накопления отходов горных пород, получаемых при переработке руд, и их экологические воздействия на окружающую среду. Данная проблема обуславливает необходимость трансформации технологий добычи полезных ископаемых на основе концепции циркулярного управления отходами. Исследования направлены на улучшение параметров эффекта механической активации техногенных георесурсов, а также на расширение сферы применения дезинтеграторов в области использования частичной засыпки выработанного пространства при разработке стратифицированных месторождений.

По результатам работы было предложено обоснование параметров извлечения металлов из хвостов обогащения с использованием их механохимической активации для обеспечения цикличности обращения с отходами.

Проведены работы по усовершенствованию процессов извлечения металлов путем повышения активности вступающих в реакции веществ. Актуальность исследования обусловлена необходимостью вовлечения в производство запасов, некондиционных для традиционного обогащения упорных сульфидных руд.

Среди методов активизации процессов переработки руд перспективен метод электрохимического извлечения золота. Исследование эффективности электрохимического метода включает в себя эксперимент, систематизацию переменных факторов, регрессионный анализ показателей, графическую интерпретацию и инженерное прогнозирование. Критерием эффективности комбинирования методов обогащения является повышение извлечения металлов.

По результатам исследования поведения сульфидов ранжирован окислительно-восстановительный потенциал реагентов, определены влияющие на процесс факторы и доля извлечения золота в зависимости от них, построены графики зависимости извлечения металлов от продолжительности процесса и установлен характер зависимости перенапряжения от плотности тока для электролизеров с диафрагмой или мембраной.

Доказано, что электрохимическое хлорное окисление руд в суспензии и пульпе ускоряет процесс разложения минералов и обеспечивает комплексный экологоэкономический эффект, а установленные закономерности получения золота носят универсальный характер.

По материалам полученным в результате этих исследований были подготовлены следующие научные публикации:

1. Горячев Н. А., Фридовский В. Ю., Будяк А. Е., Горячев И. Н., Ефремов С. В., Кудрин М. В., Тарасова Ю. И. Роль металлогенических исследований в прогнозе перспективных территорий. От моделей к объектам // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93. - № 7. - с. 614–622.
2. Горячев Н.А., Будяк А.Е., Михалицына Т.И., Тарасова Ю.И., Горячев И.Н., Соцкая О.Т. Эволюция орогенного золотого оруденения в структурах южного и восточного обрамления Сибирского кратона // Науки о Земле и недропользование. – 2023. - №46 (4). – 374-389.
3. Golik V.I., Klyuev R.V., Martyushev N.V., Kondratiev V.V., Tynchenko V.S., Gladkikh V.A., Iushkova L.V., Brigida V. Reuse and Mechanochemical Processing of Ore Dressing Tailings Used for Extracting Pb and Zn // *Materials*. 2023, 16(21): 7004. DOI: [10.3390/ma16217004](https://doi.org/10.3390/ma16217004) (01.11.2023) ((WOS) ИФ = 3,4 Q2)
4. Панфилов И. А., Шепета Н. А., Ступина А. А., Бойко А. А., Кондратьев В. В. К электрохимической технологии извлечения золота из сульфидных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 226–238. DOI: [10.25018/0236_1493_2023_111_0_226](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_226). (WOS)

4.3 Геофизические методы

Завершен цикл работ, посвященных созданию и апробации новой методологии оценки рисков камнепадов и оползней без проведения наземных работ, крайне необходимой для обследования опасных или труднодоступных горных районов.

Основным вопросом, рассматриваемым в данной статье, является описание реализованного подхода к учету трещиноватости горных пород и эффект от добавления в прогнозные модели связанных с ней признаков.

Показано, что на основе данных мультиспектральных и лидарных съемок с БПЛА, полученных по специальной методике с борта судна, удастся корректно выявлять участки с высокими рисками развития опасных эрозионных процессов, рассчитывать вероятные объемы работ по устранению этих рисков, и даже полностью сформировать отчетную документацию по обследованиям в соответствии со всеми действующими отраслевыми стандартами. Методология успешно апробирована в том числе в рамках масштабных коммерческих работ по обследованию 69 участков Кругобайкальской железной дороги.

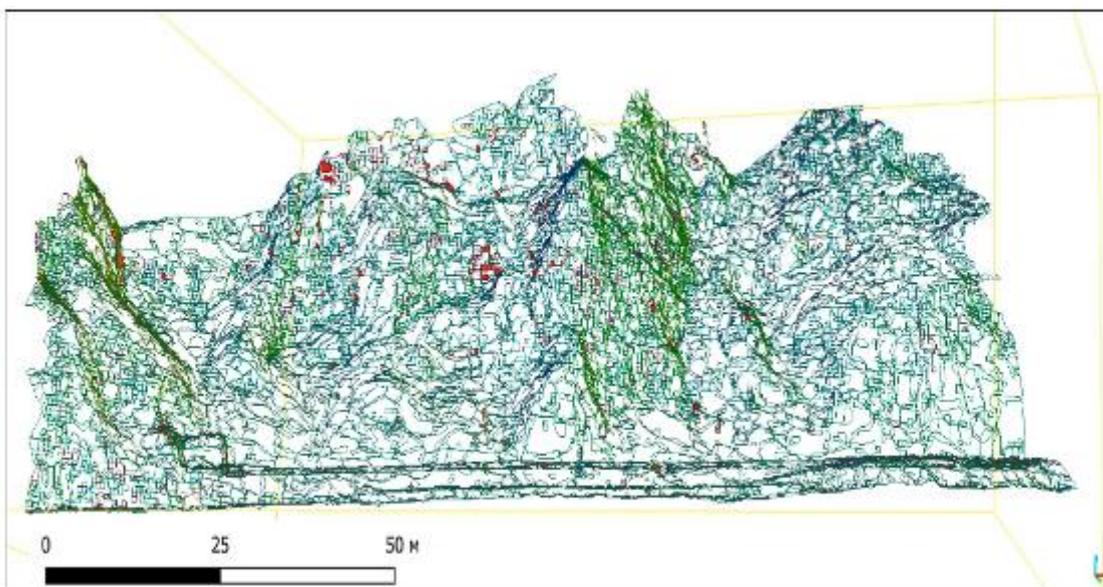


Рисунок 13 – Вид спереди на выборку участков с точным определением нависающих блоков

Продемонстрированы возможности актуальной версии первой в мире системы для БПЛА-электромагнитных зондирований становлением поля, при этом основным предметом работы является описание методики ускоренной интерпретации получаемых данных методом S-плоскости.

Реализация технологии ускоренной интерпретации данных БПЛА-МПП, позволяющей получать первые модели геоэлектрического строения изучаемых участков за время, сопоставимое со временем полевых работ, Важным выводом являются значительные временные и вычислительные затраты на обработку больших объемов БПЛА-данных, что ранее сильно снижали эффект от применения роботизированных систем при геологической разведке.

Показано, что полученные по описанной методике решения имеют вполне удовлетворительную самостоятельную геологическую ценность, а не просто обеспечивают стартовую модель для полноценной 1Д и/или 3Д инверсии.

По материалам полученным в результате этих исследований были подготовлены следующие научные публикации:

1. Gantimurova S.A. Parshin A.V. Combined Methodology for Rockfall Susceptibility Mapping Using UAV Imagery Data // Remote Sens. – 2024. – V.16. – P.177. <https://doi.org/10.3390/rs16010177> (IF 5.0 Q1)
2. Davidenko Y. Hallbauer-Zadorozhnaya V. Bashkeev A. Parshin A. Semi-Airborne UAV-TEM System Data Inversion with S-Plane Method-Case Study over Lake Baikal // Remote Sens. – 2023. – 15. – P. 5310. <https://doi.org/10.3390/rs15225310>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено сопоставление эволюции золотого рудообразования в структурах Байкало-Патомского и Верхояно-Колымского окраинно-континентальных орогенных поясов, возникших на пассивной окраине Сибирского континента в неопротерозое-палеозое и палеозое-мезозое, и вмещающих самые крупные месторождения золота России. Показаны черты сходства, зафиксированные не только в характеристиках этапности минерализации, но и в типоморфизме пирита, главного минерала рудных образований. Показана роль полихронных орогенных событий палеозойского и позднемезозойского времени, приведших к формированию крупных складчатых поясов в формировании масштабной золотой минерализации южного и восточного обрамления Сибирского кратона. Эти события вызывали мобилизацию и перераспределение благородных металлов из обогащенных ими стратиграфических горизонтов в результате формирования соответствующих орогенных плутоно-метаморфических поясов. Сравнительный анализ палеозойско-мезозойского и неопротерозойско-палеозойского металлогенических профилей южной и восточной окраин Сибирского кратона демонстрирует влияние процессов формирования орогенного золотого оруденения независимо от состава вмещающих толщ и возраста оруденения. Общие металлогенические характеристики палеогеодинамических обстановок формирования благороднометалльного оруденения орогенного типа независимо от его возраста, могут послужить основой для геолого-генетических и прогнозных построений и выработки комплексных критериев оценки перспектив в пределах рассмотренных регионов.

Проведенный выше анализ показал, что золоторудные объекты в пределах зоны Монголо-Охотского шва и Олекма-Шилкинского водораздела практически аналогичны друг другу. Им свойственен контроль одним магматическим комплексом/близкий геологический возраст, аналогичный набор полезных компонентов и последовательность эволюции процесса рудообразования. Их появление должно быть связано с единым геологическим процессом, наложенным на два различных геологических блока.

По результатам проведенной работы на месторождении золота Верхне-Алиинское Мунгинского рудного узла, показано заметное распространение турмалина и сульфидов в рудах. Намечены черты зональности распределения минерализации в пределах рудного поля Верхне-Алиинского месторождения.

Проводимые работы помимо фундаментального значения (генезис рудной минерализации) имеют и важную прикладную направленность, позволяющую дать оценку перспектив исследуемого оруденения в пределах конкретных площадей и районов, или технологическую характеристику руд.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамов Б.Н. Условия образования и петрогеохимические особенности флюидно-эксплозивных образований золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Литосфера. - 2015. - № 1. - С. 86–97.
2. Абрамов Б.Н. Верхне-Алиинское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Мунгинский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Литосфера. - 2016. - № 4. - С. 92–101.
3. Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Х., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Горячев Н.А., Альшевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А. U-Pb SHRIMP возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии) // Доклады Академии Наук. - 2009. - Т. 426. - № 2. - С. 216-221.
4. Акинин В.В. Альшевский А.В., Ползуненков Г.О., Сергеев С.А., Сидоров А.В. // Возраст орогенного золоторудного месторождения Наталка (U-Pb, $40\text{Ar}/39\text{Ar}$, Re-Os ограничения) // Тихоокеанская геология. – 2023. - №6
5. Андреева М.Г. Особенности состава и размещения минеральных ассоциаций и элементы зональности в пределах Балейского рудного поля и его периферии // Труды ЦНИГРИ. - 1971. - Вып. 96. - Ч. 1. - С. 32–45.
6. Бабяк В.Н., Блинов А.В., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Новые данные о геолого-структурных особенностях золоторудных месторождений Ожерелье, Ыканское, Угахан и Голец Высочайший // Науки о Земле и недропользование. - 2019. - 42(4). С. - 388-412. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-388-412>.
7. Балейское рудное поле (геология, минералогия, вопросы генезиса) / ред. Н.П. Лаверов, В.А. Нарсеев, Н.В. Петровская, Ю.Г. Сафонов. -М., Изд-во ЦНИГРИ - 1984. 271 с.
8. Блинов А.В., Паршин А.В., Костерев А.Н. Особенности постановки геофизических методов поисков золотоурановых объектов в горных районах Северного Забайкалья // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. - 2014. - № 1 (44). - С. 55-60.
9. Блинов А.В., Тарасова Ю.И. Минералого-петрографическая характеристика месторождения Угахан // Науки о Земле и недропользование. - 2020. - Т. 43. - № 2. - С. 160–176. DOI: 10.21285/2686-9993-2020-43-2-160-176.
10. Бородаевская М.Б. Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послевержнеюрского возраста в одном из районов Восточного Забайкалья // Известия Академии наук СССР. Серия Геологическая. - 1956. - № 6. - С. 70–91.

11. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданинского золоторудного месторождения (Саха Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. - 2007. - Т. 49. - № 2. - С. 99–145.
12. Будяк А.Е., Горячев Н.А., Скузоватов С.Ю. Геодинамические предпосылки формирования масштабного оруденения в южном обрамлении Сибирского кратона в протерозое // Доклады академии наук. - 2016. - 470. - № 5. - С. 562–565.
13. Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Тарасова Ю.И., Ванг К.Л., Горячев Н.А. Единая неопротерозойская-раннепалеозойская эволюция рудоносных осадочных комплексов юга Сибирского кратона // Доклады Академии наук. - 2019. - Т. 484. - № 3. - С. 335–339. DOI: 10.31857/S0869-56524843335-339
14. Будяк^а А.Е., Чугаев А.В., Тарасова Ю.И., Горячев Н.А., Блинов А.В., Абрамова В.Д., Рассохина И.В., Реутский В.Н., Игнатъев А.В., Веливецкая Т.А., Ванин В.А. Геолого-минералогические и геохимические особенности золоторудного месторождения Угахан «Сухоложского» типа (Байкало-Патомское нагорье) // Геология и геофизика - doi: [10.15372/GiG2023132](https://doi.org/10.15372/GiG2023132)
15. Будяк^б А.Е., Тарасова Ю.И., Горячев Н.А., Блинов А.В., Игнатъев А.В., Веливецкая Т.А., Абрамова В.Д., Щербаков Ю.Д. Рудная минерализация месторождения Ожерелье: сопоставление с объектами “Сухоложского” типа // Доклады Российской академии наук. - 2023. - Т. 509. - №2. - С. 199-207. DOI: [10.31857/S268673972260223X](https://doi.org/10.31857/S268673972260223X)
16. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира. – Владивосток: Дальнаука. -1997. - 133 с.
17. Ведерников И.Л. Распределение органического углерода в золотоносных толщах перми Аян-Юрхского антиклинория // Чтения памяти академика К.В.Симакова: Тез.докл. Всерос. Научн. Конф. (Магадан 25-27 ноября 2009 г.) – Магадан: СВНЦ ДВО РАН. - 2009. - С.43-44
18. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. - 1962. - № 7. - С. 555–571.
19. Геодинамика, магматизм и металлогения Дальнего Востока России / ред Ханчук А.И. -Владивосток: Дальнаука. - 2006. - Кн. 1. - С. 1–572., Кн. 2. - С.573–981.
20. Гладков В.Г., Корольков А.Т., Летунов С.П., Воросов А.Д. Морфологические особенности штокверкового оруденения балецкого типа (материалы детального картирования карьеров в масштабе 1:1000) // Условия образования и размещения золоторудных месторождений Сибири: сб. тез. - Новосибирск. - 1975. - С. 129.

21. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. -Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. - 2002. - 250 с.
22. Горячев Н.А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Севера Пацифики. - Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. - 2003. - 143 с.
23. Горячев Н.А., Викентьева О.В., Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Голуб В.Н. Наталкинское месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. - 2008. - Т. 50. - № 5. - С. 414–444.
24. Горячев Н.А., Мишунин В.И., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. ТермоЭДС сульфидов: возможности метода и значение для минералогических исследований (на примере изучения пирита и арсенопирита золоторудных месторождений восточного и южного обрамления Сибирского кратона) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. - 2020. - № 3. - С. 41–55
25. Горячев Н.А., Мишунин В.И., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Термо-ЭДС сульфидов: возможности метода и значение для минералогических исследований (на примере изучения пирита и арсенопирита золоторудных месторождений восточного и южного обрамления Сибирского Кратона) // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. - 2022. - № 3. - С. 41-55.
26. Горячев Н.А., Никанюк Т.С., Будяк А.Е. О рудной минерализации Верхне-Алиинского месторождения (Забайкальский край, Россия) // Современные направления развития геохимии: материалы Всерос. конф. с уч. зарубежн. ученых, посвящ. 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рожд. акад. Л.В. Таусона (г. Иркутск, 21–25 ноября 2022 г.). - Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН. - 2022. - Т. 1. - С. 147–148.
27. Горячев Н.А., Соцкая О.Т., Горячев И.Н., Михалицына Т.И. Минералого-геохимические особенности раннемелового золотого оруденения восточного фланга Яно-Колымского орогенного пояса (Магаданская область, Россия) // Тихоокеанская геология. - 2023. - № 6. - С. 80-95
28. Горячев Н. А., Фридовский В. Ю., Будяк А. Е., Горячев И. Н., Ефремов С. В., Кудрин М. В., Тарасова Ю. И. Роль металлогенических исследований в прогнозе перспективных территорий. От моделей к объектам // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93. - № 7. - с. 614–622

29. Горячев И.Н. Mineral prospectivity mapping для прогноза месторождений золота и металлогенического районирования Центрально-Колымского региона (Магаданская область, Россия // Геоинформатика. - 2023. - № 1. - С. 4-17
30. Жмодик С.М., Куликов А.А., Шестель С.Т. Распределение золота в черных сланцах Витимо-Патомского района // Геология и геофизика. - 1993. - № 2. - С.67-76
31. Зорин Ю.А., Мазукабзов А.М., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Пресняков С.Л., Сергеев С.А. Силурийский возраст главных складчатых деформаций рифейских отложений Байкало-Патомской зоны // ДАН. - 2008. - Т. - 423. - № 2. - С. 228—233
32. Иванов А.И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – Москва: ФГУП ЦНИГРИ. - 2014. - 215 с.
33. Кокин А.В. Новые данные по золотоносности осадочных пород юго-восточного обрамления Сибирской платформы // Доклады АН СССР. - 1990. - 313. - № 3. - С.697-699.
34. Комаров П.В., Томсон И.Н. Возрастная после довательность оруденения и плутоногенные минерагенические циклы на примере Восточного Забайкалья // Отечественная геология. - 1995. - № 10. - С. 26–36.
35. Криволуцкая Н.А. Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. - 1997. - № 4. - С. - 344–361
36. Мальцева Г.Д., Никанюк Т.С. Условия формирования оруденения некоторых гидротермальных месторождений золота // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. - 2011. - № 2. - С. 25–30.
37. Михалицына Т.И. Литология и геохимия верхнепермских пород Аян-Юряхского антиклинория (на примере разреза руч. Тихоня) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. - 2014. - №4
38. Немеров В.К., Станевич А.М., Развозжаева Э.А., Будяк А.Е., Корнилова Т.А. Биогенно-седиментационные факторы рудообразования в неопротерозойских толщах байкало-патомского региона // Геология и геофизика. - 2010. - 51 (5). - 729-747.
39. Ньюберри Р.Дж., Лейер П.У., Ганс П.Б., Гончаров В.И., Горячев Н.А., Ворошин С.В. Предварительный анализ хронологии мезозойского магматизма и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. - 2000. - Т. 1. - С. 181-20

40. Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. Вещественный состав руд Верхне-Алиинского месторождения // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. - 2008. - № 6. - С. 50–59.
41. Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. Вещественный состав – основа для технологической оценки золотосодержащих руд Верхне-Алиинского месторождения // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. - 2009. - № 1. - С. 69–76.
42. Паршин А.В., Будяк А.Е., Блинов А.В., Костерев А.Н., Морозов В.А., Михалев А.О., Просекин С.Н., Тарасова Ю.И., Спиридонов А.М. Низковысотная беспилотная аэромагниторазведка в решении задач крупномасштабного структурно-геологического картирования и поисков рудных месторождений в сложных ландшафтных условиях. Часть 2 // География и природные ресурсы. - 2016. - № 56. - С. 150-155.
43. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). - М.: Наука. - 1973. - 348 с.
44. Петровская Н.В., Сафонов Ю.Г., Шер С.Д. Формации золоторудных месторождений // Рудные формации эндогенных месторождений. - М.: Наука. - 1976. - Т. 2. С. 3–110.
45. Плюснин Г.С., Спиридонов А.М., Литвинцев К.А., Кочеткова Л.Ф., Гнилуша В.А., Кузнецова С.В. Rb-Sr возраст щелочных гранитов Карийского рудного узла (Восточное Забайкалье) // Доклады Академии наук СССР. - 1989. - Т. 307. - № 4. - С. 967–971.
46. Прокопьев А.В., Борисенко А.С., Гамянин Г.Н., Фридовский В.Ю., Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Трунилина В.А., Васюкова Е.А., Иванов А.И., Травин А.В., Королева О.В., Васильев Д.А., Пономарчук А.В. Возрастные рубежи и геодинамические обстановки формирования месторождений и магматических образований Верхояно-Колымской складчатой области // Геология и геофизика. - 2018. - № 10. - С. 1542–1563
47. Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов (по данным исследования флюидных включений). - Новосибирск: Наука. - 2000. - 190 с.
48. Симонов Ю.И., Максимов С.С. Геодинамическая модель вулканоплутонических структур Забайкалья и принципы крупномасштабного прогнозирования золота // Структуры рудных полей вулканических поясов: материалы Всесоюзн. совещ. – Владивосток. - 1985. - Вып. 1. - С. 16–18.

49. Соцкая О.Т., Семьшев Ф.И., Малиновский М.А., Альшевский А.В., Ливач А.Э., Горячев Н.А. Пирит зон сульфидизации терригенных комплексов Яно-Колымского орогенного пояса (Северо-Восток России): генерации, типохимизм, минеральные ассоциации // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. - 2022. - № 1. - С. 14-30
50. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. - Новосибирск: Гео, - 2006. - 291 с.
51. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Летунов С.П., Прокофьев В.Ю. Флюидный режим процесса рудообразования Балейской золоторудно-магматической системы (Восточное Забайкалье) // Геология и геофизика. - 2010. - Т. 51. - № 10. - С. 1413–1422.
52. Тарасова Ю. И., Будяк А. Е., Горячев Н. А., Игнатьев А. В., Веливецкая Т. А., Блинов А. В., Горячева Е. М. Типоморфизм сульфидов золоторудного месторождения Угахан (Байкало-Патомское нагорье) // Доклады Российской Академии Наук. - Науки о Земле. - 2022. - Т. 503. - № 1. - С. 12–17
53. Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Стадийность формирования рудной зоны Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения // Науки о Земле и недропользование. - 2023. - Т. 46. - № 2 (83). - С. 201-211. DOI: 10.21285/2686-9993-2023-46-2-201-211
54. Фридовский, В.Ю., Горячев, Н.А., Крымский, Р.Ш., Кудрин, М.В., Беляцкий, Б.В., Сергеев, С.А. Возраст золотого оруденения Яно-Колымского металлогенического пояса, Северо-Восток России, первые данные по Re-Os изотопной геохронологии самородного золота. // Тихоокеанская геология. - 2021. - Т. 40 - № 4. - С. 18-32.
55. Чернышев И.В., Бортников Н.С., Чугаев А.В., Гамянин Г.Н., Бахарев А.Г. Источники металлов крупного орогенного золоторудного Нежданинского месторождения (Якутия, Россия): результаты высокоточного изучения изотопного состава свинца (MC-ICP-MS) и стронция // Геология рудных месторождений. - 2011. - Т. 53. - № 5. - С. 395–418.
56. Чернышев И. В., Бахарев А. Г., Бортников Н.С., Гольцман Ю.В., Котов А.Б., Гамянин Г.Н., Чугаев А.В., Сальникова Е.Б., Баирова Э.Д. Геохронология магматических пород района золоторудного месторождения Нежданинское (Якутия, Россия): U–Pb, Rb–Sr и Sm–Nd-изотопные данные // Геология рудных месторождений. - 2012. - Т. 54. - № 6. - С. 487–512
57. Четчин В.С., Трубачев А.И. Минеральные ресурсы Забайкальского края. - Чита: Изд-во РНиУМЛ ЗабГУ. - 2013. - 231 с.

58. Чугаев А.В., Чернышев И.В., Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Баранова А.Н. Rb–Sr-изотопная систематика гидротермальных минералов, возраст и источники вещества золоторудного месторождения Нежданинское (Якутия) // ДАН. - 2010. - Т. 434. - № 4. - С. 534–539.
59. Худолей А.К., Гурьев Г.А. Южное Верхоянье – пример среднепалеозойско-мезозойской пассивной окраины // Доклады РАН. - 1998. - Т.362. - №. 5. - С. 666-669
60. Юргенсон Г.А., Грабеклис Р.В. Бaleyское рудное поле // Месторождения Забайкалья. - М.: Геоинформмарк. - 1995. - Т. 1. - Кн. 2. - С. 19–32.
61. Chugaev A.V., Budyak A.E., Larionova Yu.O., Chernyshev I.V., Travin A.V., Tarasova Yu.I., Gareev B.I., Batalin G.A., Rassokhina I.V., Oleinikova T.I. 40Ar-39Ar and Rb-Sr age constraints on the formation of Sukhoi-Log-style orogenic gold deposits of the Bodaibo District (Northern Transbaikalia, Russia) // Ore Geology Reviews. - 2022. - 144. - P.104855. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2022.104855
62. Damdinov B. B., Khubanov V. B., Goryachev N. A., Damdinova L. B., and Izvekova A. D. Composition and Age of Atypical Zircon–Titanomagnetite Ores of the Tret'yakovskoe Gold–Fluorite Deposit, West Transbaikal // Doklady Earth Sciences. 2024. DOI: 10.1134/S1028334X23602614
63. Distler, V.V., Yudovskaya, M.A., Mitrofanov, G.L., Prokof'ev, V.V., Lishnevsky, E.N. Geology, composition, and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia // Ore Geology Reviews - 2004. - 24. - P. 7–44
64. Goldfarb R.J., Taylor R.D., Collins G.S., Goryachev N.A., Orlandini O.F. Phanerozoic continental growth and gold metallogeny of Asia // Gondwana Research. - 2014. - V. 25. - № 1. - P. - 49–102.
65. Goryachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia // Ore geology Reviews. - 2014. - V. 59. - P. 123–151.
66. Kouzmanov K., Pokrovski G. Hydrothermal controls on metal distribution in porphyry Cu (-Mo-Au) systems // Soc. Econ. Geol. – 2012. – Spec Publ 16. - 573–618
67. Layer P.W., Newberry R.J., Fujita K., Parfenov L.M., Trunilina V. Bakharev. A. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, northeast Russia, based on 40Ar/39Ar geochronology and trace element geochemistry // Geology. – 2001. - V. 29. - № 2. - P. 167-170.
68. Parshin A., Bashkeev A., Davidenko Y., Persova M., Iakovlev S., Bukhalov S., Grebenkin N., Tokareva M. // Lightweight unmanned aerial system for time-domain electromagnetic prospecting-the next stage in applied uav-geophysics // Applied Sciences (Switzerland). - 2021. - Т. - 11. - С. 2060.

69. Sinyakova E.F., Goryachev N.A., Kokh K.A., Karmanov N.S., Gusev V.A. The Role of Te, As, Bi, and Sb in the Noble Metals (Pt, Pd, Au, Ag) and Microphases during Crystallization of a Cu-Fe-S Melt // *Minerals*. – 2023. - 13(9). – 150. <https://doi.org/10.3390/min13091150>
70. Sillitoe, R. H. Porphyry Copper Systems // *Economic Geology*. – 2010. – V.105 (1). – P.3-41 [doi:10.2113/gsecongeo.105.1.3](https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3)
71. Tarasova Yu.I., Budyak A.E., Chugaev A.V., Goryachev N.A., Tauson V.L., Skuzovatov S.Yu., Reutsky V.N., Abramova V.D., Gareev B.I., Bryukhanova N.N., Parshin A.V. Mineralogical and isotope-geochemical ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$ and Pb-Pb) characteristics of the Krasniy gold mine (Baikal-Patom Highlands): constraining ore-forming mechanisms and the model for Sukhoi Log-type deposits // *Ore Geology Reviews*. – 2020. - V. 119. - 103365 DOI 10.1016/j.oregeorev.2020.103365
72. Tarasova Yu.I., Budyak A.E., Ivanov A.V., Goryachev N.A., Ignatiev A.V., Velivetskaya T.A., Radomskaya T.A., Blinov A.V., Babyak V.N. Indicator and Isotope Geochemical Characteristics of Iron Sulfides from the Golets Vysochaishy Deposit, East Siberia // *Geology of Ore Deposits*. - 2022. - V. 64. - №. 7. - P. 503–512.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Публикации по теме

1. Горячев Н. А., Фридовский В. Ю., Будяк А. Е., Горячев И. Н., Ефремов С. В., Кудрин М. В., Тарасова Ю. И. Роль металлогенических исследований в прогнозе перспективных территорий. От моделей к объектам // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93. - № 7. - с. 614–622 (WOS).
2. Sinyakova E.F., Goryachev N.A., Kokh K.A., Karmanov N.S., Gusev V.A. The Role of Te, As, Bi, and Sb in the Noble Metals (Pt, Pd, Au, Ag) and Microphases during Crystallization of a Cu-Fe-S Melt // Minerals. – 2023. - 13(9). – 150. <https://doi.org/10.3390/min13091150> (WOS)
3. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И., Горячев Н.А., Блинов А.В., Игнатъев А.В., Веливецкая Т.А., Абрамова В.Д., Щербаков Ю.Д. Рудная минерализация месторождения Ожерелье: сопоставление с объектами «Сухоложского» типа // Доклады Российской академии наук. 2023. Т. 509. №2. С. 199-207. DOI: [10.31857/S268673972260223X](https://doi.org/10.31857/S268673972260223X) (WOS)
4. Svetlana Gantimurova & Alexander Parshin. Combined Methodology for Rockfall Susceptibility Mapping Using UAV Imagery Data // Remote Sens. 2024*, 16, 177. <https://doi.org/10.3390/rs16010177> ((WOS) IF 5.0 Q1)
5. Davidenko, Y.; Hallbauer-Zadorozhnaya, V.; Bashkeev, A.; Parshin, A. Semi-Airborne UAV-TEM System Data Inversion with S-Plane Method—Case Study over Lake Baikal. Remote Sens. 2023, 15, 5310. <https://doi.org/10.3390/rs15225310> ((WOS) IF 5.0 Q1)
6. Golik V.I., Klyuev R.V. Martyushev N.V., Kondratiev V.V., Tynchenko V.S., Gladkikh V.A., Iushkova L.V., Brigida V. Reuse and Mechanochemical Processing of Ore Dressing Tailings Used for Extracting Pb and Zn // Materials. 2023, 16(21): 7004. DOI: [10.3390/ma16217004](https://doi.org/10.3390/ma16217004) (01.11.2023) (WOS) ИФ = 3,4 Q2)
7. Панфилов И.А., Шепета Н.А., Ступина А.А., Бойко А.А., Кондратьев В.В. К электрохимической технологии извлечения золота из сульфидных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 226–238. DOI: [10.25018/0236_1493_2023_111_0_226](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_226). (WOS)
8. Горячев Н.А., Будяк А.Е., Михалицына Т.И., Тарасова Ю.И., Горячев И.Н., Соцкая О.Т. Эволюция орогенного золотого оруденения в структурах южного и восточного обрамления Сибирского кратона // Науки о Земле и недропользование. – 2023. - №46 (4). – 374-389 (ВАК)
9. Никанюк Т.С. Состав руд и характеристика самородного золота одного из рудопроявлений Восточного Забайкалья // Науки о Земле и недропользование. – 2023. - 46(1). - С.36-50. doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-36-50 (ВАК)

10. Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Стадийность формирования рудной зоны месторождения Холоднинское (Байкало-Патомское нагорье) // Науки о земле и недропользование. - 2023. - Т. 46. - № 2. - С. 201 – 212 <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-201-211> (ВАК)

Тезисы конференций

1. Будяк А. Е., Тарасова Ю. И., Горячев Н. А., Чачанагова О. И., Лычагин М. А., Очиржапова С. М., Анохина А. Ю. Роль органического вещества в процессе рудообразования месторождений «Сухоложского» типа на примере месторождения Угахан (Бодайбинский район) // Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. - 2023. - С. 99 – 102

2. Тарасова Ю. И., Будяк А. Е., Горячев Н. А., Будяк А. А., Жарикова А. А., Черкашина Д. А. Минералогический состав рудной зоны месторождения Угахан (Бодайбинский район) // Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН. - 2023. - С. 510 – 513

3. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И. Стадийность формирования месторождений орогенного типа северного Прибайкалья (на примере месторождения Ыкан) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) 2023. – В. 21. - С. 21–23

4. Ефремов С.В., Горячев А.Н., Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Блинов А.В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту) 2023. – В. 21. - С. 100–102

5. Бадмацыренова Р.А. Геохимические особенности магнетита и ильменита Кручининского месторождения, Восточное Забайкалье, Россия // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал: Материалы VIII Всеросс. конф. с междунар. участием. Новосибирск / Ин-т геол. и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН – Новосибирск: ИПЦ НГУ. - 2023. - С. 14-16

Принятые в печать

1. Damdinov B. B., Khubanov V. B., Goryachev N. A., Damdinova L. B., and Izvekova A. D. Composition and Age of Atypical Zircon–Titanomagnetite Ores of the

Tret'yakovskoe Gold–Fluorite Deposit, West Transbaikal // Doklady Earth Sciences. 2024. DOI: 10.1134/S1028334X23602614

2. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И., Чугаев А.В., Горячев Н.А., Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В. Особенности формирования золоторудной минерализации в условиях амфиболитовой фации метаморфизма: месторождение Ыкан (Байкало-Патомский пояс) // Тихоокеанская геология. 2024.

3. Будяк А.Е., Чугаев А.В., Тарасова Ю.И., Горячев Н.А., Блинов А.В., Абрамова В.Д., Рассохина И.В., Реутский В.Н., Игнатьев А.В., Веливецкая Т.А., Ванин В.А. Геолого-минералогические и геохимические особенности золоторудного месторождения Угахан «Сухоложского» типа (Байкало-Патомское нагорье) // Геология и геофизика, doi: [10.15372/GiG2023132](https://doi.org/10.15372/GiG2023132)