

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

Рег. № 121042100029-0

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН

Д.Г.-м.н.

А.Б. Перепелов

« 24 »

2025 г.



ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЫЕ 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

№1 от 23 января 2025 г.

Руководитель проекта

Главный научный сотрудник

 23.01.2025
академик РАН Н.А. Горячев
подпись, дата

Иркутск 2024

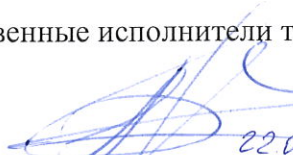
СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА

Научный руководитель темы,
академик РАН

 22.01.25
подпись, дата Н.А. Горячев (введение,
разделы 1, 2, 3, заключение)

Ответственные исполнители темы:

СНС, К.Г.- М.Н.

 22.01.25
подпись, дата А.Е. Будяк (разделы 1, 2)

СНС, К.Г.- М.Н.

 22.01.25
подпись, дата Ю.И. Тарасова (разделы 1, 2)

НС, К.Г.- М.Н.

 22.01.25
подпись, дата С.Н. Просекин (разделы 1, 2)

СНС, К.Г.- М.Н.

 22.01.25
подпись, дата А.В. Паршин (раздел 1)

НС, К.Х.Н.

 22.01.25
подпись, дата Н.Н. Брюханова (раздел 3)

СНС, К.Т.Н.

 22.01.25
подпись, дата В.В. Кондратьев (раздел 3)

СНС, К.Т.Н.

 22.01.25
подпись, дата В.В. Трусова (раздел 3)

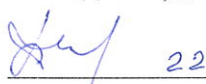
Инж.-иссл.

 22.01.25
подпись, дата С.А. Баранова (разделы 1, 2)

Инж.-иссл.

 22.01.25
подпись, дата А.А. Дьячков (раздел 3)

нормоконтроль

 22.01.25
подпись, дата Т.Ю. Гармышева

РЕФЕРАТ

Отчет включает 31 стр., 3 илл., 1 табл., 26 ист., 1 прил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЗОЛОТОЕ И ПОРФИРОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ, БАЙКАЛО-ПАТОМСКИЙ, БАЙКАЛО-МУЙСКИЙ, ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ РЕГИОНЫ, ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ И ИХ ПРОГНОЗНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

В отчете представлены результаты работ 2024 года по теме «Благороднометалльные рудообразующие системы складчатого обрамления сибирского кратона» (№ 0284-2021-0001). Результаты сгруппированы в три раздела: (1) геолого-генетические модели золотого оруденения Байкало-Патомского и Байкало-Муйского районов; (2) геолого-генетические модели золоторудной и порфировой минерализации Забайкалья и (3) прикладное значение проведенных исследований. В них приведены новые данные по оруденению сухоложского типа, оценено происхождение минерализации Холоднинского месторождения, впервые рассмотрены вопросы формирования рудной минерализации в метаморфитах Муйской глыбы, охарактеризована зональность Верхне-Алиинского золоторудного месторождения и оценен возраст золото-флюоритовой минерализации Забайкалья. Особое место заняли работы по применению результатов фундаментальных исследований в прикладных целях по прогнозу золотого оруденения сухоложского типа в отложениях хомолхинской свиты, по поисковым признакам медно-порфирового оруденения в Забайкалье и по технологии доизвлечения золота из хвостов отработки руд Вернинского и Нежданинского месторождений.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА	2
РЕФЕРАТ.....	3
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1 РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО НАГОРЬЯ	8
РАЗДЕЛ 2 РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ПОЯСА	14
РАЗДЕЛ 3 ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	26
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	29

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

МООП – Монголо-Охотский орогенный пояс

РМС – рудно-магматическая система

СФЗ – структурно-формационная зона

СЭМ – сканирующий электронный микроскоп MIRA3 LMN Tescan

ОПИ – опытно-исследовательские работы

ЗИФ – золото-извлекательная фабрика

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. Это обусловило геолого-генетическое направление исследований. С другой стороны, современные реалии требуют вклада фундаментальной науки в производство, что привело к формированию, в рамках работ по теме, прогнозно-технологического направления. С одной стороны, это развитие прогнозно-поисковых исследований [1], с другой стороны, функционирование золотодобывающих предприятий является источником больших объемов техногенных отвалов, в которых содержатся значительные количества ценных компонентов, в частности, трудноизвлекаемого тонкодисперсного золота, что ставит задачи по разработке технологий его извлечения. Постепенное обеднение руд и высокая экологическая нагрузка, вследствие влияния техногенных отвалов на окружающую среду, приводит к востребованности новых технологических решений по дообогащению отвалных руд [2, 3, 21]. В этой ситуации, разработка и апробация технологий извлечения золота из накопленных отходов золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ) из разряда убыточных переходит в весьма окупаемое мероприятие при использовании междисциплинарного подхода и новых инновационных приемов обогащения. При этом несомненна проблема труднообогащаемых форм золота в хвостах золотодобывающих предприятий.

В период 2024 работы были сосредоточены на реализации следующих задач.

Геолого-генетическое направление:

1) Провести изотопно-минералогические исследования отложений Олоkitской структурно-формационной зоны и сопоставить их с изученными в 2021 - 2023 годах отложениями Байкало-Патомской металлогенической провинции.

2) Изучить полиметаллическое оруденение Олоkitской СФЗ, и определить: 1) этап эволюционного развития Олоkitской структуры и условия формирования геохимической специализации отложений на барий и цветные металлы;

3) Сравнить золоторудную минерализацию и разработать основу геолого-генетических моделей золоторудной и сопутствующей минерализации Олекма-Шилка-Газимурского поперечного сегмента Монголо-Охотского орогенного пояса, опираясь на материалы по изученным месторождениям.

Прогнозно-технологическое направление:

4) дальнейшая проработка вопросов по созданию прогнозно-поисковых моделей на примере золотой и порфировой минерализации Забайкальского края

5) исследования по доизвлечению золотосодержащих фаз из кеков – хвостов обогащения месторождений Нежданинское (Якутия) и Вернинское (Бодайбинский район);

6) разработка временного технологического регламента на проведение опытно-исследовательских работ (ОПИ) на существующих хвостах ЗИФ Нежданинского и Вернинского месторождений.

РАЗДЕЛ 1 РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО НАГОРЬЯ

1.1. Золоторудные месторождения сухоложского типа

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, 2024. т. 65(3), с. 446-470. DOI: 10.15372/GiG2023132.

Среднее по запасам золота месторождение Угахан, расположенное в пределах крупнейшей в России Ленской золоторудной провинции, принадлежит к группе месторождений «сухоложского» генетического типа. Представлены результаты петрографического, минералогического и изотопно-геохимического изучения золоторудной минерализации месторождения. Разработана схема последовательности минералообразования на месторождении, которая включает пять стадий: 1) в течение ранней (синдиогенетической) стадии происходило образование фрамбоидного пирита-1, обогащенного Au, Ni, Co, As; 2) на стадии катагенетического преобразования рудоносных осадков происходила перекристаллизация раннего пирита-1 и кристаллизация пирита-2, также обладающего повышенными содержаниями Au, Ni, Co, As; 3) формирование в рудах пирротина происходило на стадии прогрессивного метаморфизма из водно-углекислого флюида с повышенным содержанием H_2S ; 4) собственно рудная стадия, представленная на месторождении минеральной ассоциацией пирит-3, галенит, сфалерит, халькопирит, самородное золото, коррелирует с развитием в регионе регрессивного метаморфизма; 5) кристаллизация пострудного идиоморфного крупного пирита-4. Комплекс геохимических и изотопных ($\delta^{34}S$ и Pb-Pb) данных позволяет исключить привнос минералообразующих компонентов при гидротермально-метасоматическом преобразовании рудовмещающих пород из дополнительного (внешнего) источника. Значения $\delta^{34}S$, варьирующие для ранних морфотипов пирита в рудах месторождения в относительно узких диапазонах от +5.7 до +9.1 ‰, близки к величинам $\delta^{34}S$ (+4.2... +16.4 ‰) безрудных пород бужуихтинской свиты. Pb-Pb изотопные характеристики, а также установленные закономерности в вариациях изотопного состава Pb для золоторудной минерализации указывают на преимущественное поступление элемента из неопротерозойских метаосадочных толщ. Минералогические и геохимические особенности месторождения Угахан согласуются с представлениями о метаморфогенном происхождении золоторудных месторождений «сухоложского» типа, что подтверждает перспективность пород бужуихтинской свиты на обнаружение новых золоторудных объектов в регионе.

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, Т. 43, № 3, С. 64-87. DOI: 10.30911/0207-4028-2024-43-3-64-87

Черносланцевые отложения, претерпевшие метаморфические изменения, превышающие зеленосланцевую фацию регионального метаморфизма, большинством исследователей рассматриваются исключительно с точки зрения возможности добычи россыпного золота. В статье приведены результаты изучения месторождения Ыкан, расположенного в пределах зоны метаморфизма эпидот-амфиболитовой фации и его сопоставления с ранее изученными месторождениями, локализованными в зоне зеленосланцевых изменений. Было определено, что одним из основных факторов локализации месторождения золота Ыкан является его литолого-стратиграфическая приуроченность к контакту углеродсодержащих филлитовидных сланцев и песчаников аунакитской свиты в висячем крыле антиклинальной складки. Рудная минерализация месторождения представлена сменой ранней диа-катагенетической пиритовой (py-I, py-II) → метаморфогенной пирротиновой (po, cru, asp) → метаморфогенно-метасоматической пирит-полиметаллической (cru, asp, py-III, gln, sph, pn, mrc) → пострудной пиритовой (py-IV) ассоциациями. Рудный этап характеризуется максимально высокими РТ-параметрами на раннерудной метаморфической стадии и их снижением на продуктивной стадии. Данные о вариациях изотопного состава серы и свинца свидетельствуют об их заимствовании в рудный флюид из вмещающих метаосадочных толщ аунакитской свиты. В результате сопоставления по полученным параметрам месторождения Ыкан с изученными ранее месторождениями Сухой Лог, Голец Высочайший, Угахан и Красный сделан вывод о правомерности отнесения месторождения Ыкан к группе месторождений Сухоложского генетического типа.

Будяк А.Е., Тарасова Ю.И. [Эволюция рудного минералообразования месторождений орогенного типа Бодайбинского региона](#) В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 66-69. Рассмотрена стадийность минералообразования месторождений Ыкан и Красное, а также вероятность отнесения данных месторождений к Сухоложскому генетическому типу. Сделано предположение о вероятности формирования данного типа месторождений при метаморфизме, превышающем фацию зеленых сланцев.

Будяк А.Е., Тарасова Ю.И. Роль органического углерода при формировании месторождений золота орогенного типа (Бодайбинский регион, Россия) // Отправлена в журнал «Геология и геофизика».

Обобщены результаты многолетних геохимических исследований посвященных региональной геологии Бодайбинского синклинория в целом и локальной (рудной) геологии отдельных золоторудных месторождений орогенного типа локализованных в пределах крупнейшей в мире Ленской металлогенической провинции. Основное внимание уделено органическому веществу, как одному из наиболее важных факторов, участвующих в процессе рудогенеза.

Продемонстрировано отсутствие значимой корреляционной связи нерастворимого углеродистого вещества с золотом, в соответствии с рисунком 1. Это объясняется низкой сорбционной емкостью графитизированного органического вещества относительно его первичного (до катагенного) аналога. В битумоидах углеродистых сланцев идентифицированы сложные эфиры карбоновых кислот (липиды), подтверждающие бактериально-планктоногенное происхождение первичного органического вещества осадков. В битумоидах бужуихтинской, хомолхинской и аунакитской свит на удалении от месторождений отмечено повышенное содержание золота, сопоставимое с битумоидами выделенными непосредственно из рудных зон месторождений, что указывает на первичную золотоносность органического флюида.

Углерод в процессе рудогенеза играет одну из ведущих ролей, являясь источником и транспортером металлов (в том числе золота), приобретенных на этапе седиментогенеза. Однако мнение о том, что органическое вещество может служить барьером на пути металлоносных гидротерм не подтверждается.

Опираясь на катагенную модель формирования нефтяных месторождений, был предложен алгоритм ресурсной оценки золота для разных стратиграфических подразделений неопротерозойского разреза в Бодайбинском палеобассейне. Сделан вывод о максимальной перспективности хомолхинской и аунакитской свит (дальнетайгинско-жуинский стратиграфический уровень), золотоносный потенциал которых, по нашей оценке, превышает 5 т золота с км². Кроме указанных свит, значительно более скромные перспективы отмечены для отложений бужуихтинской свиты.

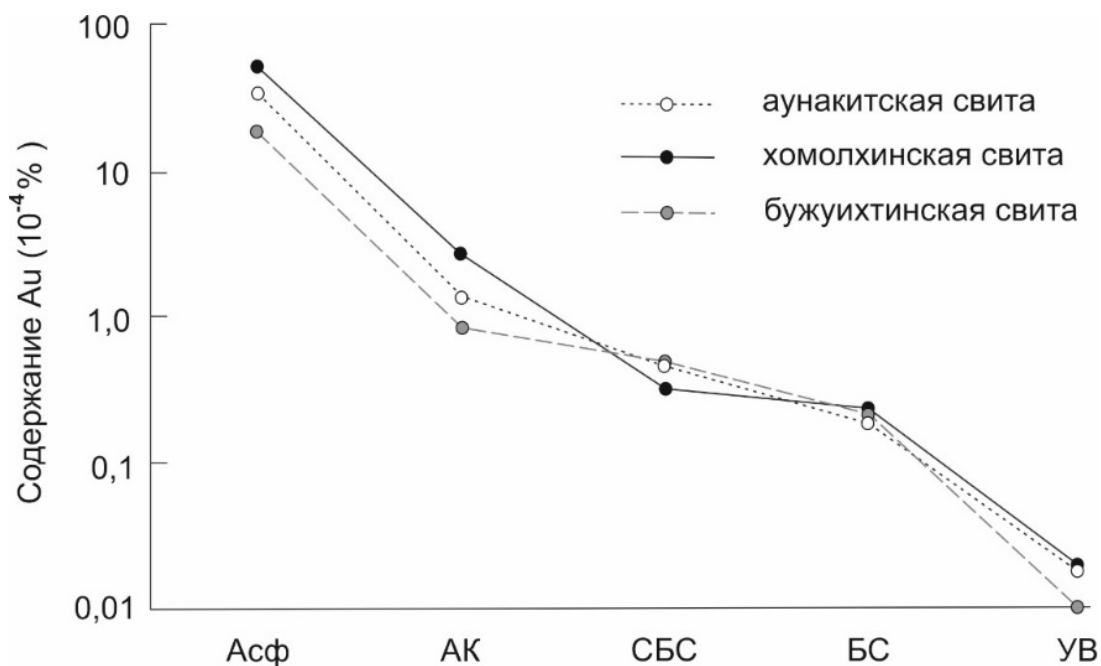


Рисунок 1 - Содержание золота во фракциях битумоидов отложений дальнотайгинского-жуинского стратоуровней

1.2. Месторождения Байкало-Муйской зоны.

Скузоватов С.Ю., Тарасова Ю.И. Сульфидная минерализация в орогенных эклогитах Северо-Муйского блока (северо-восточное Забайкалье): генезис и первые данные об изотопном составе серы // Науки о Земле и недропользование. 2024. Т. 47. №1. С. 35-43. 10.21285/2686-9993-2024-47-1-35-43. (ВАК)

Процессам субдукции сопутствуют гидротермальные проявления, в том числе крупные месторождения золота и переходных металлов островодужного и задугового происхождения, а вулканические дуги вмещают большую часть мировых запасов ряда металлических полезных ископаемых. Вместе с тем роль надсубдукционного переноса металлов и сопутствующая роль окислительно-восстановительных процессов в их формировании до сих пор не представляется однозначной и требует прямых исследований сульфидных минералов в высокобарических комплексах, стадийности формирования и сохранности сульфидов в процессе прогрессивного и пикового метаморфизма. С целью характеристики поведения халькофильных элементов в палеозонах континентальной субдукции нами выполнены предварительные минералогические (SEM-EDX) и изотопные (S) исследования сульфидов из эклогитов Северо-Муйского блока (северо-восточное Забайкалье). Сульфидная минерализация пирит-халькопирит-пирротинового состава имеет метасоматическое происхождение, связанное с процессами ретроградного флюидного преобразования исходно «сухих» эклогитовых парагенезисов на стадии эксгумации на ниже-среднекоровые уровни после или синхронно с декомпрессией и формированием

плагноклаз-диопсид±амфиболовых симплектитов (ниже 10-12 Кбар). Крайне неоднородный изотопный состав серы ($\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$) пирита обусловлен разными источниками флюидов, которые могли иметь метаосадочное происхождение (от -8,2 до -6 ‰) в парагнейсовых сегментах Северо-Муйского блока, но могли преимущественно буферироваться гидротермально измененными метабазитами в других (от +0,7 до +7,1 ‰). Альтернативным механизмом могло быть участие единого преимущественно окисленного (сульфатсодержащего) флюида с существенным изотопным фракционированием (до ~15-20 ‰).

Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. [Минеральные системы месторождения Холоднинское \(первая и рыжая рудные зоны\)](#) В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 374-377.

Сопоставление рудных зон Первая и Рыжая Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения демонстрирует сходство минералогических ассоциаций и химического состава раннего пирита, свидетельствующее о первично-осадочной природе оруденения, и отличие значений $\delta^{34}\text{S}$ в пиритах, наследующих изотопный состав серы вмещающих их подцвет.

Vanin V.A., Ivanov A.V., Gorovoy V.A., [Budyak A.E.](#) and Bortnikov N.S. Timing of Ore Mineralisation in Deposits of the Baikal-Muya Belt and the Barguzin-Vitim Super-Terrain (Transbaikalie) // Minerals. 2024. 14(11), 1158. [DOI: 10.3390/min14111158](#)

Проведено датирование Au-руд месторождений Юбилейное, Ирокинда и Урях, расположенных в Байкало-Муйском складчатом поясе, и Pb-Zn-руд месторождения Озерное в Баргузинско-Витимском супертеррейне (Забайкалье, Россия). Возраст $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ инкапсулированного в пирит серицита золотоносного кварца, отобранного из жил на месторождениях Юбилейное, Ирокинда и Урях, составляет 265 ± 33 млн лет, 276 ± 13 млн лет и 287 ± 7 млн лет соответственно. Возраст рассеянного оруденения на месторождении Озерное составляет 329 ± 19 млн лет. Результаты этого исследования и ранее опубликованные данные свидетельствуют о двух стадиях минерализации руд в Забайкалье: 330-320 млн лет для рассеянного и 290-270 млн лет для жильного. Независимо от местоположения и природы вмещающих пород, первая и вторая минерализации временно связаны с начальной и конечной стадиями формирования Ангаро-Витимских гранитных батолитов. Гранитоиды выделяли тепло и, возможно, флюиды, в то время как Au, Pb и Zn поступали из вмещающих пород. Месторождения золота, расположенные к северу и югу от

батолита, как правило, старше и моложе, соответственно и были сформированы в результате различных геологических процессов.

РАЗДЕЛ 2 РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО ПОЯСА

2.1. Золоторудные месторождения.

Горячев Н.А., Юргенсон Г.А., Никанюк Т.Н. Рудная минерализация Алиинского рудного поля (Забайкальский сектор Монголо-Охотского орогенного пояса). Статья направлена в журнал «Геология и геофизика».

Рудная минерализация Верхне-Алиинского месторождения и рудопроявлений Алиинского рудного поля отличается минералогически от типичных мезотермальных месторождений - Средне-Голготайского (Гвоздев и др., 2020), Сосновского и Майского высокой сульфидностью продуктивных руд, малыми размерами частиц самородного золота, редкостью находок турмалина и минералов висмута и заметно меньшей ролью кварца в составе продуктивных ассоциаций. Типоморфные свойства кварца (низкая степень его кристаллического строения, халцедоновидный облик), повышенная сульфидность руд и локализация свинцовых и висмутовых сульфосолей в виде тонких микровключений в пирите и арсенопирите, с элементами зонального отложения сульфосолей и галенита в кварце, высокая доля частиц самородного золота (менее 0.07 мм более 50-70%), свидетельствуют о малых глубинах минералообразования – переходных от среднеглубинных, характерных для вышеуказанных месторождений, к приповерхностным, типоморфным для основного оруденения Балейского рудного района. Узкий диапазон изотопного состава серы рудных минералов (+0.5 ÷ +2.0‰ – 4 пробы) свидетельствует о ювенильном, магматогенном источнике серы. Составы сосуществующих пирита и арсенопирита, арсенопирита и сфалерита указывают на среднетемпературные условия их кристаллизации (350-300°C). В то же время текстурные характеристики руд, наличие микровключений золота и сульфосолей Pb и Bi в арсенопирите и пирите свидетельствуют о нестабильности P-T-X условий во время рудоотложения, быстрой эволюцией состава рудообразующих флюидов с угнетенной сульфосольной ассоциацией и широким распространением антимонитовой минерализации в конце процесса. Показана парагенетическая связь оруденения с интрузивными породами III фазы акатуйского комплекса. Выявлены элементы минералогической зональности относительно этих выходов интрузивов, что предполагает, как минимум, парагенетическую связь рудной минерализации с магматическими телами этого комплекса, как продуктов единой рудно-магматической системы. А минералогические результаты исследования технологических проб руд показывают, что оруденение сформировалось в условиях малых глубин, переходных к близповерхностным. Они свидетельствуют о нестабильности P-T-X условий во время рудоотложения и быстрой эволюцией состава рудообразующих флюидов при формировании рудных жил, что при всем общем минералого-геохимическом сходстве с

другими орогенными месторождениями золота рудного района, отличает Верхне-Алиинское меторождение от них. И это обусловило, отчасти, технологическую упорность его руд.

Дамдинов Б.Б., Хубанов В.Б., Горячев Н.А., Дамдинова Л.Б., Извекова А.Д. Состав и возраст необычных циркон титаномагнетитовых руд Третьяковского золото флюоритового месторождения (Западное Забайкалье) // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. 2024. 514(2): 237-245. DOI: 10.31857/S2686739724020069.

Дамдинов Б.Б., Горячев Н.А., Дамдинова Л.Б. Особенности состава руд Третьяковского золото-флюоритового месторождения (Западное Забайкалье) // Сборник тезисов докладов XIII международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» Москва ЦНИГРИ 2024 10-12.04.2024 г. – М.: ЦНИГРИ, 2024, с. 103-105

Изучено нетипичное Третьяковское золото-флюоритовое месторождение типа минерализованных зон, в сочетании со своеобразными линзовидными телами титаномагнетит-цирконового с апатитом состава. Установлен возраст этой минерализации по циркону – 277 млн лет, коррелирующий с рифтогенным магматизмом Западного Забайкалья. Высказано предположение о выделении нового типа золоторудной комплексной минерализации схожего с объектами Южной Австралии.

2.2. Медно-порфировое оруденение.

Ефремов С.В., Горячев Н.А., Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Блинов А.В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты. Геодинамика и тектонофизика. 2024; 15(2): 0750. [DOI: 10.5800/GT-2024-15-2-0750](https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-2-0750).

Продемонстрирована реализация методики анализа строения палеовулканических структур с использованием 3D визуализации модели геологического строения территории, основанной на цифровой модели рельефа. Использованный подход позволил выделить два палеовулканических аппарата и слагающие их структурные элементы: фрагменты конуса, эксплозивные купола, штоки порфиров, зоны кольцевых разломов с локализацией в них дайковых поясов. Анализ пространственного положения выделенных структурных блоков с определенной геохимической характеристикой довольно хорошо укладывается в рамки модели эволюции порфировых рудных систем. В пределах площади работ можно выделить три рудно-магматические системы на малом уровне эрозионного среза, потенциально сопровождающиеся рудной минерализацией порфирового типа.

Прогнозно-поисковая часть этих результатов изложена ниже в разделе 3.1.

РАЗДЕЛ 3 ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Приложение полученных результатов для поисков и оценки. Прикладные аспекты наших фундаментальных исследований нашли отражения в ряде разделов изложенных выше (раздел 1.1-4, 2.1-7) и частью изложены в данном разделе.

Ефремов С.В., Горячев Н.А., Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Блинов А.В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты. Геодинамика и тектонофизика. 2024; 15(2): 0750. [DOI: 10.5800/GT-2024-15-2-0750](https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-2-0750).

Продемонстрированная выше реализация методики анализа строения палеовулканических структур с использованием 3D визуализации модели геологического строения территории, основанной на цифровой модели рельефа, позволила выделить палеовулканических аппараты – как основу прогнозных рудно-магматических систем

Проверка методики была выполнена на основании результатов геохимической съемки. Был показан закономерный контроль выделенными структурными элементами геохимических полей. Анализ пространственного положения выделенных структурных блоков с определенной геохимической характеристикой довольно хорошо укладывается в рамки модели эволюции порфировых рудных систем. Во всех случаях отмечается контроль порфировыми штоками геохимических ореолов, довольно ярко выделяются вещественные комплексы пород, являющиеся фрагментами зональной каменной «шляпы» порфирового рудного объекта.

Что бы создать эффективную прогнозную поисковую модель необходимо оценить ряд важных параметров. Во-первых необходимо понимать: откуда берется металл; какие процессы контролируют его движение; какие геологические структуры являются рудоподвдящими и рудолокализирующими; в каких геофизических и геохимических полях проявлена продуктивная минерализация. За отчетный период создана основа для построения геолого-генетических моделей формирования золоторудной и сопутствующей минерализации в пределах золото-молибденового пояса Забайкалья. Выполнена работа по выявлению структурно-литологического контроля золотой и молибденовой минерализации. Показано, что минерализация контролируется гранитоидами амуджикано-сретинского комплекса, приуроченных к зонам глубинных разломов.

Блинов А.В., Терешкин С.А. «Программное обеспечение, предназначенное для обработки аналитических данных по результатам геолого-поисковых работ» было создано для обработки результатов геохимических исследований. Программа в автоматизированном режиме реализует специальные для такого вида работ функции, в частности, позволяет собирать аналитические протоколы в единую таблицу готовую для

дальнейших расчетов, при этом исправлять пределы обнаружения элементов, производит расчеты, строит и выгружает графики, необходимые для проведения оценки и контроля качества химико-аналитических исследований с целью снятия влияния систематических расхождений между результатами различных серий анализа проб и аналитического дрейфа данных, а также рассчитывает статистические показатели. В программе реализована пакетная обработка данных, которая позволяет выполнять выбранные операции последовательно в автоматическом режиме.

3.2. Работы технологического плана. К настоящему моменту появилось значительное количество альтернативных направлений развития методов доизвлечения золота из хвостов золотодобывающих предприятий. Так работах [4-10] представлены новые оригинальные методы, основанные на ультразвуковых и магнито-импульсных [5], агломерационной флокуляции с последующей флотацией [6], применение новых собирателей и модификаторов при флотации техногенного сырья [7-9], биогидрометаллургические технологии [10] и др.

При этом работы по изучению форм нахождения и диффундированию золотосодержащих компонентов в отходах ЗИФ немногочисленны [11-14]. В этих работах изложены факты, что золото содержится неравномерно по объему отходов и концентрируется в локальных ареалах, которые закономерно располагаются в местах слива хвостовых пульп, что подтверждает эффекты сомофлотации. Часто в результате несоблюдения технологических параметров не происходит вскрытия частиц самородного золота, что препятствует их эффективному извлечению методами гравитационного и флотационного обогащения, а также выщелачиванием.

В работе [11] приведены исследования механизмов диффундирования частиц золота, через процессы растворения и переосаждения на других несущих минералах или восстановление тонкодисперсного золота с последующим осаждением в локальных участках отходов. Для подобных частиц золота введен отдельный термин - «невидимое». Физико-химические особенности такого золота изложены в работе [12]. Тонкодисперсные частицы и устойчивые взвеси зачастую содержат высокие концентрации золота и образуют локальные участки отходов с аномально высоким содержанием [14]. Также выявлено, что растворенное ионоподобное золото в водах хвостохранилищ, может восстанавливается при естественных воздействиях, например ультрафиолета [15]. Доказано, что в присутствии ионов двухвалентного железа ионы золота склонны восстанавливаться с образованием оксидов железа с вкраплением наночастиц золота [16]. Миграцию частиц золота и других благородных металлов в хранилищах отходов доказали

авторы работ [13, 14]. В работе [14] исследованы процессы миграции золота и серебра в Урском хвостохранилище.

«Невидимое» золото обычно находится во взвешенной форме и тонкодисперсном состоянии. В работе [14] обнаружен факт самоконцентрирования золота (до 155 г/т) на торфоподобных органических веществах, которые образуются в процессе самозарастания хвостохранилищ. Авторы [17] обосновали процессы миграции подвижного золота в природных водных экосистемах. Они доказали, что отдельные частицы золота становятся легкоподвижными и осаждаются на оксидах железа и/или органическом веществе, которые являются компонентами донных отложений.

Таким образом, формы нахождения золота в отходах доказывают, что имеется техническая и аппаратная возможность его доизвлечения из отходов при применении опыта междисциплинарных подходов к обогащению тонкодисперсных сложнофазных систем с применением инновационного оборудования [21-24].

Проведены эксперименты по разработке технологий доизвлечения «невидимого» золота. В качестве объектов исследований использованы отходы ЗИФ Вернинского и Нежданнинского месторождений.

Вернинское месторождение характеризуется рудой с средним содержанием золота 1,92 г/т. Тип золотой минерализации – прожилково-вкрапленный кварц-сульфидный. Доказанная эффективность извлечения золота – 92%. Технология извлечения – комплексная с выщелачиванием.

Основными носителями тонковкрапленного золота и серебра в рудах Нежданнинского месторождения являются сульфиды: преимущественно пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, антимонит. Среднее содержание золота составляет 3,91 г/т. Эффективность извлечения не превышает 90%. Технология извлечения - гравитационно-флотационное обогащение.

При дообогащении хвостов использовались следующие методы:

- доизмельчение до крупности менее 2 мкм,
- механохимическая активация,
- гравитационное обогащение,
- флотационное обогащение,
- фильтрация,
- сушка.

Анализ исходных и конечных продуктов производился в соответствии с методикой НСАМ «237-С «Определение золота в горных породах, рудах и продуктах их переработки экстракционно-атомно-абсорбционных методом с органическими сульфидами».

Приборное обеспечение:

- участок измельчения проб,
- механохимический активатор (кавитатор),
- концентрационный стол,
- флотомашина с пневмогидравлическим аэратором (разработана с использованием результатов ранее выполненных исследований [25-26], в соответствии с рисунком 2),
- устройство фильтрации под вакуумом с электрокоагуляцией,
- сушильные шкафы,
- микроскопия (оптическая, СЭМ и микрофокус).

Описание приемов дообогащения хвостов и результаты. Лабораторные эксперименты проводились в соответствии со следующим алгоритмом:

- пробы массой 3 кг измельчались в истирателе до крупности менее 10 мкм,
- пробы дотирались в планетарной мельнице до крупности менее 2 мкм,
- производилась репульпация в емкости с импеллерной мешалкой при соотношении Ж:Т = 15:1,
- пульпа обрабатывалась в механохимическом активаторе (кавитаторе) в течение 10 минут для разбивки сгустков,
- активированная пульпа обрабатывалась на концентрационном столе для удаления пустой породы,
- сконцентрированная пульпа в течение 10 минут подвергалась операции флотации с применением вспенивателя (МIBC), активатора (медный купорос), депрессора (Flotent FN-4), собирателя (ксантогенат) и собирателя (НБА),
- полученный слив камерного продукта фильтровался с активацией электрокоагуляцией,
- отфильтрованный осадок сушился и отправлялся на анализ.

Результаты лабораторных экспериментов (среднее по 3 параллелям) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты лабораторных экспериментов (в пересчете на сухое)

Проба	Исходная		После концентрационного стола		После флотации	
	Масса, г	Содержание, г/т	Масса, г	Содержание, г/т	Масса, г	Содержание, г/т
Вернинское	3000	0,12	750	0,43	545,5	0,56
Нежданинское	3000	0,24	1000	0,52	714,3	0,85

Анализ результатов показывает следующие степени обогащения хвостов (отходов) и потери целевого продукта во вторичные хвосты (отходы):

Вернинское

- выход концентрата = 18,18%,
- выход вторичных хвостов = 81,82%,
- выход золота в концентрат = 84,86%,
- потери золота во вторичные хвосты = 15,14%,
- масса вторичных хвостов = 2454,5 г,
- содержание золота во вторичных хвостах = 0,022 г/т.

Нежданинское:

- выход концентрата = 23,81%,
- выход вторичных хвостов = 76,19%,
- выход золота в концентрат = 84,33%,
- потери золота во вторичные хвосты = 15,67%,
- масса вторичных хвостов = 2285,7 г,
- содержание золота во вторичных хвостах = 0,049 г/т.

Данные результаты свидетельствуют о возможности получения вторичных концентратов с содержанием промышленно осваиваемых концентраций золота, например, процессами выщелачивания цианированием. Результаты удалось достигнуть совокупностью методов до вскрытия вмещающих минералов, механохимической активации – отрывом золотонесущих фаз от пустой породы и совокупностью гравитационного и флотационного дообогащения с применением эффективных флотореагентов и пневмогидравлической аэрации, позволяющей выделять субмикро- и нанодисперсные фракции.

С использованием результатов исследований подготовлены и опубликованы 2 статьи в журнале из баз цитирования WoS&Scopus (Q2):

- Evdokimov S.I., Golikov N.S., Pryalukhin A.F., Kondratiev V.V., Mishedchenko A., Kuzina A.V., Bryukhanova, N.N., Karlina, A.I. Studying Flotation of Gold Microdispersions with Carrier Minerals and Pulp Aeration with a Steam–Air Mixture. Minerals 2024, 14, 108. <https://doi.org/10.3390/min14010108>;
- Evdokimov S.I., Golikov N.S., Zadkov D.A., Voitovich E.V., Kondratiev V.V., Petrovskiy A.A., Konyukhov V.Y., Gladkikh V.A. Studying the Flotation of Gold-Bearing Ores Using Carrier Minerals. Minerals 2024, 14, 88. <https://doi.org/10.3390/min14010088>.

Часть результатов исследований применены для процессов обогащения иных рудных материалов. Результаты изложены в следующих публикациях:

- Карлина А.И., Кондратьев В.В., Петровский А.А., Николаев М.Д., Колосов А.Д. Исследование процессов извлечения целевых нанодробин двуокиси кремния методами коагуляции и электрокоагуляции // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2024. Т. 80. № 10. С. 75-84. DOI: 10.32339/0135-5910-2024-10-75-84;

- Кондратьев В.В., Карлина А.И., Петровский А.А., Дьячков А.А., Карлина Ю.И. Технологические решения повышения уровня извлечения железа из складированных хвостов обогащения // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2024. Т. 80. № 11. С. 5-11. DOI: 10.32339/0135-5910-2024-11-5-11.

С целью подтверждения результатов лабораторных исследований планируется провести опытно-промышленные испытания (ОПИ) с переработкой хвостов обогащения Вернинского и Нежданинского месторождений массой не менее 5 тонн каждаго.

В результате ОПИ будут рассчитаны водно-балансовые схемы, балансы по сухому материалу, а также энергетические балансы.

Планируемые процессы при ОПИ:

1. Доизмельчение проб хвостов и до крупности не более 2 мкм,
2. Репульпация и механохимическая активация,
3. Гравитационное обогащение,
4. Флотационное обогащение,
5. Фильтрация,
6. Сушка,
7. Аналитическое сопровождение.

Аппаратурное обеспечение ОПИ:

1. Измельчение проб – бисерная мельница (определяется при проектировании временной аппаратурно-технологической схемы),
2. Репульпация – емкость с мешалкой объемом не менее 2 м³,
3. Механохимическая активация – кавитатор типа РАФ-14,
4. Винтовая сепарация – винтовой сепаратор (определяется при проектировании),
5. Флотация – радиальные флотомашины с пневмогидравлическими аэраторами,
6. Сгущение – конусные сгустители, в соответствии с рисунком 3,

7. Фильтрация – ленточный вакуум-фильтр (определяется при проектировании),
8. Сушка – барабанная сушилка (определяется при проектировании).



Рисунок 2 – Радиальные флотомашины с пневмогидравлическими аэраторами и устройством дозирования реагентов



Рисунок 3 – Сгуститель

Аналитическое сопровождение ОПИ:

Методика НСАМ «237-С «Определение золота в горных породах, рудах и продуктах их переработки экстракционно-атомно-абсорбционных методом с органическими сульфидами».

В результате проведенных испытаний получены следующие параметры ОПИ:

- Масса пробы – не менее 5 тонн,
- Температура проведения – от +10 до +30 °С,
- Крупность пробы перед обогащением – не более 2 мкм,
- Репульпация – Ж:Т = 12-15:1,
- Время активации – не менее 10 мин,
- Производительность винтового сепаратора по пульпе – не менее 2 м³/ч,
- Производительность флотации по пульпе – не менее 2 м³/ч,
- Производительность сгустителя по пульпе - не менее 2 м³/ч,
- Производительность вакуум-фильтра по сгущенной пульпе – не менее 1 м³/ч,
- Производительность сушки по кеку – не менее 300 кг/ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных в 2024 году исследований по геолого-генетическому направлению показано, что:

- 1) Минералогические и геохимические особенности месторождения Угахан согласуются с представлениями о метаморфогенном происхождении золоторудных месторождений «сухоложского» типа, что подтверждает перспективность пород бужуихтинской свиты на обнаружение новых золоторудных объектов в регионе.
- 2) В результате сопоставления месторождения Ыкан с изученными ранее месторождениями Сухой Лог, Голец Высочайший, Угахан и Красный сделан вывод о правомерности его отнесения к группе сухоложского генетического типа.
- 3) Углерод в процессе рудогенеза на месторождениях сухоложского типа играет одну из ведущих ролей, являясь источником и транспортером металлов (в том числе золота), приобретенных на этапе седиментогенеза.
- 4) Изучение сульфидов рудных зон Первая и Рыжая Холоднинского колчеданно-полиметаллического месторождения позволило получить свидетельства о первично-осадочной природе полиметаллического оруденения.
- 5) Выявлено зональное размещение рудной минерализации Верхне-Алиинского золоторудного месторождения относительно выходов интрузивов III фазы акатуйского комплекса, что предполагает, парагенетическую связь рудной минерализации с магматическими телами этого комплекса, в рамках единой рудно-магматической системы. Исследования рудных образцов показали, что оруденение сформировано в условиях малых глубин, переходных к близповерхностным, в нестабильных P-T-X условиях, что при общем минералого-геохимическом сходстве с орогенными месторождениями золота Балейского рудного района, отличает Верхне-Алиинское месторождение от них.
- 6) Охарактеризован новый тип золото-флюоритовой минерализации в Западном Забайкалье, получены датировки, указывающие на пермский возраст формирования рудообразующей системы данного типа.

В результате работ по прогнозно-технологическому направлению в 2024 году были получены следующие результаты:

- 1) Предложен алгоритм ресурсной оценки золота для разных стратиграфических подразделений неопротерозойского разреза в Бодайбинском палеобассейне. Сделан вывод о максимальной перспективности хомолхинской и аунакитской

свит, значительно более скромные перспективы отмечены для отложений бужуихтинской свиты.

- 2) Применение методики анализа строения палеовулканических структур с использованием 3D визуализации модели геологического строения территории, в совокупности с площадными геохимическими исследованиями позволили выделить перспективные на рудные объекты порфирового типа.
- 3) Изучение форм нахождения золота в технологических отходах горного производства указывает на техническую и аппаратную возможность его дополнительного извлечения, исходя из опыта междисциплинарных подходов к обогащению тонкодисперсных сложнофазных систем с применением инновационного оборудования.
- 4) Эксперименты с механохимической активации – отрывом золотонесущих фаз от пустой породы, в совокупности с гравитационным и флотационным дообогащением с применением эффективных флотореагентов и пневмогидравлической аэрации, позволили разработать основы технологии доизвлечения «невидимого» золота из отходов ЗИФ Вернинского и Нежданинского месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 РАН. – 2023. - т.93 (№7). - С.614-622.
2. Чантурия В.А., Козлов А.П., Матвеева Т.Н., Лавриненко А.А. Инновационные технологии и процессы извлечения ценных компонентов из нетрадиционного, труднообогатимого и техногенного минерального сырья // ФТПРПИ. – 2012. – №5. – С. 144-156.
3. Комогорцев Б.В., Вареничев А.А., Потапов И.И. Технологии и методы ресурсосбережения минерально-сырьевая база золота России // Экономика природопользования. – 2015. – №3. – С. 89-112.
4. Шадрунова И. В., Горлова О. Е., Провалов С. А. Адаптивные методы доизвлечения золота из хвостохранилищ золотоизвлекательных фабрик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №. 9.– С. 21-27.
5. Гурин К.К., Башлыкова Т.В., Ананьев П.П., Бобоев И.Р., Горбунов Е.П. Извлечение золота из хвостов золотоизвлекательной фабрики от переработки упорных руд смешанного типа // Цветные металлы. – 2013. – № 5. – С. 41-45.
6. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В., Бурдакова Е.А., Маркова А.С. Извлечение золота из хвостов золотоизвлекательной фабрики с использованием процесса агломерационной флокуляции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №12. – С. 56-61.
7. Брагина В.И., Коннова Н.И. Извлечение ценных минералов из хвостов обогащения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №. 12.– С. 165-167.
8. Кондратьев С.А., Бурдакова Е.А. Роль физической формы сорбции во флотационном процессе // ФТПРПИ. – 2017. – №. 4. – С. 135-144.
9. Брагин В.И., Бурдакова Е.А., Кондратьева А.А., Плотникова А.А., Бакшеева И.И. Исследование на обогатимость флотационным методом лежалых золотосодержащих хвостов // ФТПРПИ. – 2018.– №4.– С.152-160.
10. Койжанова А.К., Арыстанова Г.А., Седельникова Г.В., Есимова Д.М. Исследование биогидрометаллургической технологии извлечения золота из хвостов сорбции золотоизвлекательной фабрики // Цветные металлы. – 2016. – №9.– С. 52-57.
11. Меретуков М.А., Гурин К.К. Поведение золота в хвостовых отвалах // Цветные металлы. – 2011. – №. 7. – С. 27-31.

12. Hough R. M., Noble R. R. P., Reich M. Natural gold nanoparticles // *Ore Geology Reviews* – 2011. - Vol. 42, Issue 1. P. 55-61.
13. Михайлов А.Г., Харитонов М.Ю., Вашлаев И.И., Свиридова М.Л. Исследование подвижности водорастворимых форм цветных и благородных металлов в массиве лежащих хвостов обогащения // *ФТПРПИ*. – 2013. – №3. – С. 188-196
14. Myagkaya I.N., Lazareva E.V., Gustaytis M.A., Zhmodik S.M. Gold and silver in a system of sulfide tailings. Part 1: migration in water flow // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2016. - Vol. 160. P. 16-30.
15. Daniel M.C., Astruc, D. Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size-related properties, and applications toward biology, catalysis, and nanotechnology // *Chemical reviews*. – 2004. - Vol. 104, Issue 1. P. 293-346.
16. Greffié C., Benedetti M.F., Parron C., Amouric M. Gold and iron oxide associations under supergene conditions: An experimental approach // *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996. - Vol. 60, Issue 9. P. 1531-1542.
17. Shuster J., Reith F., Cornelis G., Parsons J.E., Parsons J.M., Southam G. Secondary gold structures: Relics of past biogeochemical transformations and implications for colloidal gold dispersion in subtropical environments // *Chemical Geology*. – 2017. - Vol. 450. P. 154-164.
18. Piatak N.M., Parsons M.B., Seal II R.R. Characteristics and environmental aspects of slag: a review // *Applied Geochemistry*. -2015. - Vol. 57. P. 236-266.
19. Berrodier I., Farges F., Benedetti M., Winterer M., Brown Jr, G. E., Deveughele M. Adsorption mechanisms of trivalent gold on iron-and aluminum-(oxy) hydroxides. Part 1: X-ray absorption and Raman scattering spectroscopic studies of Au (III) adsorbed on ferrihydrite, goethite, and boehmite // *Geochimica et cosmochimica acta*. - 2004. - Vol. 68. P. 3019-3042.
20. Справочник химика Т. 1/ Ред. кол.: Никольский Б.П. и др.. – М.-Л.: Химия, 1966. –1072 с.
21. Борисов Р.В., Брагин В.И., Усманова Н.Ф., Плотникова А.А. Особенности нахождения и подвижность золота в лежащих хвостах золотоизвлекательной фабрики // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2020. – № 1. – С. 138-147. – DOI 10.15372/FTPRPI20200115.
22. Теория и практика процессов флотационного обогащения наноразмерных сред / В.В. Кондратьев, А.А. Немаров, Н.А. Иванов [и др.]; Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 160 с. – ISBN 978-5-8038-1026-1.
23. Патент № 2638600 С1 Российская Федерация, МПК В03D 1/24, В03D 1/02. Устройство флотационного разделения смеси нано- и микроструктур / Немаров А.А., Кондратьев и др.

24. Патент № 2692386 С1 Российская Федерация, МПК В03D 1/02, В03D 1/016, В03D 1/10. Способ извлечения наноразмерных частиц из техногенных отходов производства флотацией / Кондратьев В.В. и др.

25. Теория и практика прикладной гидроаэромеханики в обогащении полезных ископаемых и металлургии / К. Л. Ястребов, В. В. Кондратьев, Н. А. Иванов [и др.]. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 350 с.

26. Патент № 2578319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 31/02, В82В 3/00, В82У 40/00. Способ выделения углеродных наночастиц из техногенного углеродистого материала / Кондратьев В.В., Ржечицкий Э.П.

27. Патент № 2636727 С1 Российская Федерация, МПК В01D 1/24, В01F 3/04, В01F 3/20. Устройство для аэрации жидкости / Немаров А.А., Кондратьев В.В. и др.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Публикации по теме

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)
4. Скузоватов С.Ю., Тарасова Ю.И. Сульфидная минерализация в орогенных эклогитах Северо-Муйского блока (северо-восточное Забайкалье): генезис и первые данные об изотопном составе серы // *Науки о Земле и недропользование*. 2024. Т. 47. №1. С. 35-43. DOI: 10.21285/2686-9993-2024-47-1-35-43.
5. Vanin V.A., Ivanov A.V., Gorovoy V.A., Budyak A.E. and Bortnikov N.S. Timing of Ore Mineralisation in Deposits of the Baikal-Muya Belt and the Barguzin-Vitim Super-Terrain (Transbaikalie) // *Minerals*. 2024. 14(11), 1158. DOI: [10.3390/min14111158](https://doi.org/10.3390/min14111158)
6. Ефремов С.В., Горячев Н.А., Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Блинов А.В. Использование цифровых моделей геологического строения для выделения палеовулканических структур, контролирующих порфировые рудные объекты. *Геодинамика и тектонофизика*. 2024; 15(2): 0750. DOI: [10.5800/GT-2024-15-2-0750](https://doi.org/10.5800/GT-2024-15-2-0750).
7. Evdokimov S.I., Golikov N.S., Pryalukhin A.F., Kondratiev V.V., Mishedchenko A., Kuzina A.V., Bryukhanova, N.N., Karlina, A.I. Studying Flotation of Gold Microdispersions with Carrier Minerals and Pulp Aeration with a Steam–Air Mixture. *Minerals* 2024, 14, 108. <https://doi.org/10.3390/min14010108>
8. Evdokimov S.I., Golikov N.S., Zadkov D.A., Voitovich E.V., Kondratiev V.V., Petrovskiy A.A., Konyukhov V.Y., Gladkikh V.A. Studying the Flotation of Gold-Bearing Ores Using Carrier Minerals. *Minerals* 2024, 14, 88. <https://doi.org/10.3390/min14010088>.
9. Карлина А.И., Кондратьев В.В., Петровский А.А., Николаев М.Д., Колосов А.Д. Исследование процессов извлечения целевых нанофракций двуокиси кремния методами

коагуляции и электрокоагуляции // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2024. Т. 80. № 10. С. 75-84. DOI: 10.32339/0135-5910-2024-10-75-84

10. Кондратьев В.В., Карлина А.И., Петровский А.А., Дьячков А.А., Карлина Ю.И. Технологические решения повышения уровня извлечения железа из складированных хвостов обогащения // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2024. Т. 80. № 11. С. 5-11. DOI: 10.32339/0135-5910-2024-11-5-11.

Тезисы конференций

1. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И. [Эволюция рудного минералообразования месторождений орогенного типа Бодайбинского региона](#) В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 66-69.

2. Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. [Минеральные системы месторождения Холоднинское \(первая и рыжая рудные зоны\)](#) В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XIII Международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 374-377.

3. Дамдинов Б.Б., Горячев Н.А., Дамдинова Л.Б. Особенности состава руд Третьяковского золото-флюоритового месторождения (Западное Забайкалье) // Сборник тезисов докладов XIII международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» Москва ЦНИГРИ 2024 10-12.04.2024 г. – М.: ЦНИГРИ, 2024, с. 103-106

Принятые в печать

1. Будяк А.Е., Тарасова Ю.И. Роль органического углерода при формировании месторождений золота орогенного типа (Бодайбинский регион, Россия) // Отправлена в журнал «Геология и геофизика».

2. Горячев Н.А., Юргенсон Г.А., Никанюк Т.Н. Рудная минерализация Алиинского рудного поля (Забайкальский сектор Монголо-Охотского орогенного пояса). Статья направлена в журнал «Геология и геофизика».