

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

«24» января 2023 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 №1 от 23 января 2023 г.

Руководитель проекта
Главный научный сотрудник

 чл.-корр. Н.А. Горячев
подпись, дата

Иркутск 2022

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы, член-корреспондент РАН


подпись, дата 20.01.2023

Н.А. Горячев
введение,
разделы 1,2,3,
заключение)

Ответственные исполнители темы:
кандидат геолого-минералогических наук


подпись, дата 20.01.2023

А.Е. Будяк
(разделы 1, 3,)

доктор геолого-минералогических наук


подпись, дата 20.01.2023

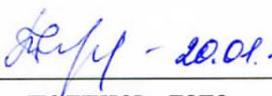
С.В. Ефремов
(раздел 2)

кандидат геолого-минералогических наук


подпись, дата 20.01.2023

Ю.И. Тарасова
(разделы 3)

нормоконтроль


подпись, дата 20.01.2023

Т.Ю. Гармышева

РЕФЕРАТ

Отчет включает 31 стр., 10 илл., 1 табл., 22 ист., 1 прил.

ТИПОМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ, ЗОЛОТО, ПИРИТ, ГРАНИТЫ, ГЕОХИМИЯ, ИЗОТОПИЯ, САЯНО-БАЙКАЛЬСКИЙ ОРОГЕННЫЙ ПОЯС, ЗАБАЙКАЛЬЕ

В отчете изложены основные результаты исследований по теме «Благороднометалльные рудообразующие системы складчатого обрамления Сибирского кратона», сгруппированные в три раздела. Первый раздел касается характеристики благороднометалльной минерализации Саяно-Байкальского орогенного пояса (типоморфные особенности главных минералов руд, геохимия руд и рудовмещающих пород, характеристика изотопного состава серы. Охарактеризованы руды золоторудных месторождений Угахан и Чертово Корыто Патомского сектора орогенного пояса, а также полиметаллического месторождения Холоднинское Олоkitской структурно-формационной зоны. Второй раздел освещает результаты работ по Забайкальскому сектору Монголо-Охотского орогенного пояса с фокусом на сочетание методов поисковой геохимии с данными по минералого-геохимическим исследованиям пород и руд для оценки генезиса рудно-магматических систем гранитоидного ряда. Рассмотрены локальные рудно-магматические системы на примере Карийского рудного узла, а также проведено комплексное изучение золоторудного месторождения Зун-Холба расположенного в обрамлении Гарганской глыбы, также тесно связанного с гранитоидным магматизмом. В третьем разделе были рассмотрены общие вопросы поисковой геологии. Показан авторский подход при решении прогнозно-поисковых задач при исследовании золотоносных и порфириновых рудообразующих систем с применением геохимических методов поисков в комплексе с петрографическими и минералогическими работами, в рамках геологических маршрутных наблюдений. Также были проведен анализ ситуации в геологической науке и практике в России.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
РАЗДЕЛ 1. БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО НАГОРЬЯ (СБОП)	6
РАЗДЕЛ 2. БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО СЕКТОРА МООП	20
РАЗДЕЛ 3. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ РУДОГЕНЕЗА	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	27
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ	30

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель программы исследований по теме в 2022 году – 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 2022 года ключевыми объектами изучения были для структур Байкало-Патомского нагорья (Саяно-Байкальский орогенный пояс – СБОП) - месторождение золота Угахан и Чертово Корыто Сухоложского рудного района, Зун-Холбинское месторождение, расположенное в обрамлении Гарганской глыбы, а для Забайкальского сектора Монголо-Охотского орогенного пояса (МООП) рассмотрены рудопроявления золота Карийского рудного узла. Кроме того, проводились исследования и в других районах, указанных орогенных поясов. Для выяснения причин первичного накопления золота и ряда сопутствующих элементов в отложениях дальнетайгинского горизонта Байкало-Патомского нагорья, были проведены исследование пород ондокской свиты вмещающей гигантское месторождение полиметаллических руд Холоднинское. Получены первые результаты исследования рудной минерализации месторождения Холоднинское.

Основная линия исследований была сосредоточена на минералого-геохимических особенностях минерализации, главным образом на исследовании типоморфизма сульфидов железа как главных минералов руд.

Результаты работ изложены ниже, в рамках соответствующих разделов отчета.

Исследования проводились по двум основным направлениям: (1) Золоторудная и полиметаллическая минерализации промышленных месторождений Байкало-Патомского нагорья; и (2) Золоторудная минерализация районов Монголо-Охотского орогенного пояса в Забайкалье.

РАЗДЕЛ 1 Золоторудная и полиметаллическая минерализации промышленных месторождений Байкало-Патомского нагорья (БПН)

По первому направлению представлены результаты изучения месторождений Угахан и Чертово Корыто. С целью выяснения вероятного источника полезного компонента для формирования золоторудных объектов Бодайбинского района, проведено исследование в районе Олокитского прогиба, с детализацией работ на объектах Холоднинское и Рыбачье.

1.1 Типоморфизм, типохимизм и изотопно-геохимические характеристики сульфидов железа месторождения Угаханское и Чертово Корыто (Восточная Сибирь)

Приведены результаты изучения изотопных, геохимических и ТЭДС-свойств различных генераций пирита и пирротина месторождения **Угахан** Бодайбинского района Иркутской области. Определены 4 морфологических типа пирита, что полностью повторяет стадийность минералообразования в пределах месторождений Сухой Лог, Красное, Голец Высочайший (Лаверов и др., 2007; Large et al., 2007; Mefre et al., 2008; Паленова и др., 2015) Установлены различия состава примесей. Ранние пириты (ру-I; -II) характеризуются наличием примесей Ni, Co, Cr и Au, электронным типом проводимости и значениями $\delta^{34}\text{S} \sim +5.6\%$, ру-III характеризуется снижением количества Ni, Co и Cr, с возрастанием As, дырочным типом проводимости, $\delta^{34}\text{S}$ от +8.6 – до +9.1%. Пострудные ру-IV и ру-IVQ характеризуются минимальными концентрациями примесей, электронным типом проводимости и изотопно более легкой серой ($\delta^{34}\text{S} \leq +3.8\%$) в соответствии с рисунком 1 (Тарасова Ю. И., Будяк А. Е., Горячев Н. А., Игнатъев 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, том 503, № 1, с. 12–17)

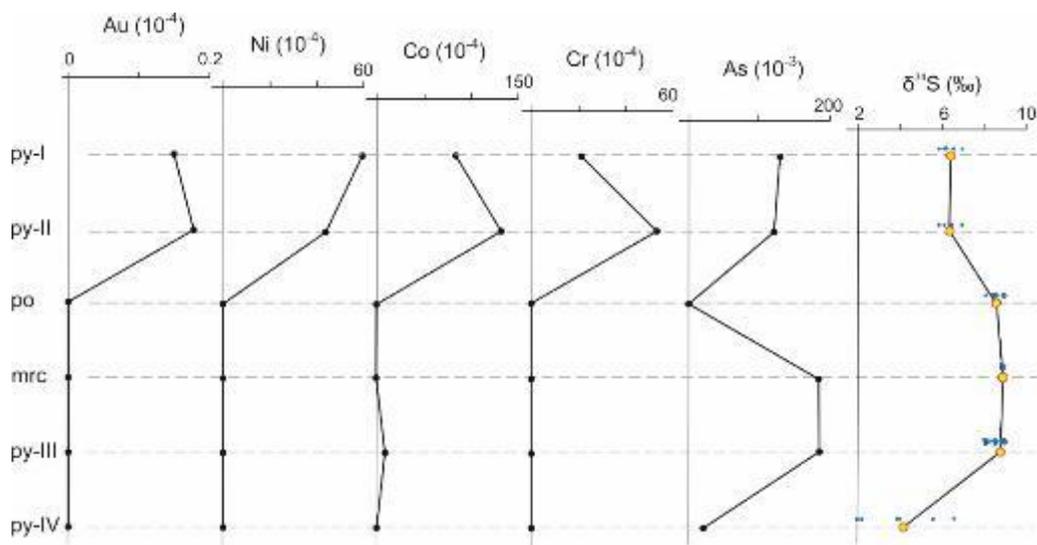


Рисунок 1 – График распределения средних содержаний элементов-примесей (%) и изотопных характеристик и сульфидах месторождения Угахан. Крупными фигуративными точками желтого цвета показаны средние значения $\delta^{34}\text{S}$, мелкими точками синего цвета – разброс значений

В пределах Байкало-Патомского нагорья, известно месторождение **Чертово-Корыто**. Согласно представлениям ряда геологов, данное месторождение генетически подобно Сухому Логу, но значительно меньшее по масштабу запасов (Yudovskaya et.al., 2016; Вагина и др., 2012). Рудные тела месторождения приурочены к вмещающим палеопротерозойским метаосадкам. Кроме месторождения Чертово Корыто известно более 20 месторождений и рудопроявлений, связанных с данными осадочными толщами, но гораздо меньшими по объему запасов золота. Нами представлены ключевые процессы, которые способствовали образованию золота и попутной минерализации месторождения Чертово Корыто, с помощью термобарометрии флюидных включений, спектроскопии и изотопного состава углерода. Методами рамановской спектроскопии и криотермометрии изучены флюидные включения в различных типах кварца месторождения. Высокие P–T параметры (2,8 кбар, 440°C) указывают на начальную стадию рудного процесса. Взаимодействие метаморфического водонасыщенного флюида с органическим веществом вмещающих отложений приводило к окислению воды с выделением CO_2 в соответствии с рисунком 2.

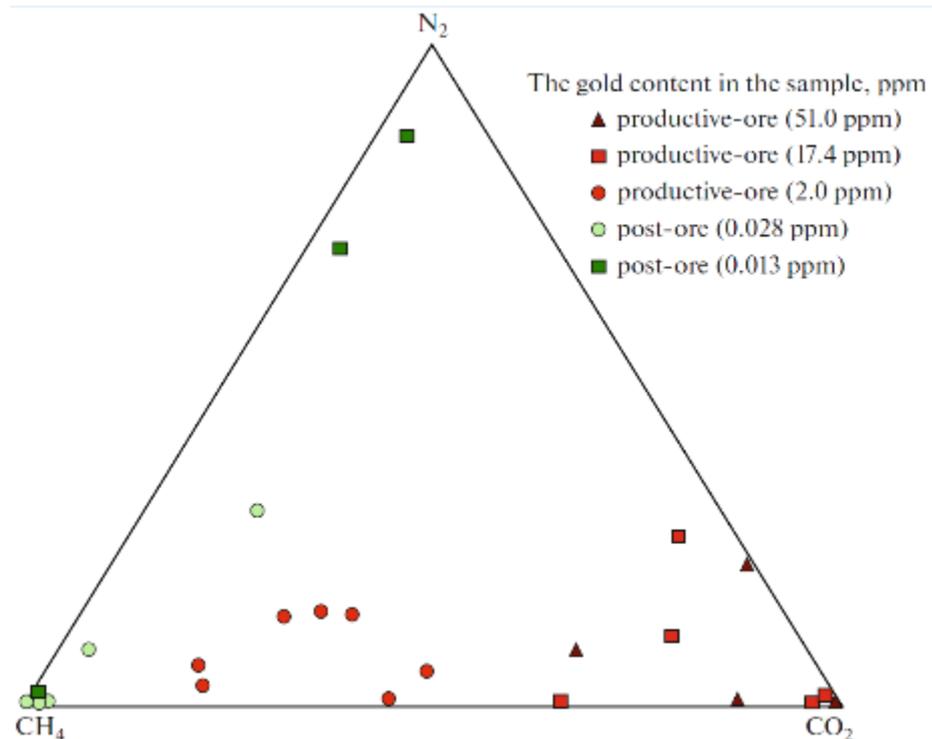


Рисунок 2 – Связь между составом газовой составляющей флюидных включений и содержанием золота в образцах

Выпадение руды связано с резким падением давления (0,3–0,6 кбар) и охлаждением системы (320–200°C), которое, согласно модели, произошло в результате тектонических деформаций и открытых полостей в пределах зоны максимальное тектоническое напряжение. Эта зона снижения давления оказалась наиболее подходящей для осаждения золотосодержащей жидкости в соответствии с рисунком 3.

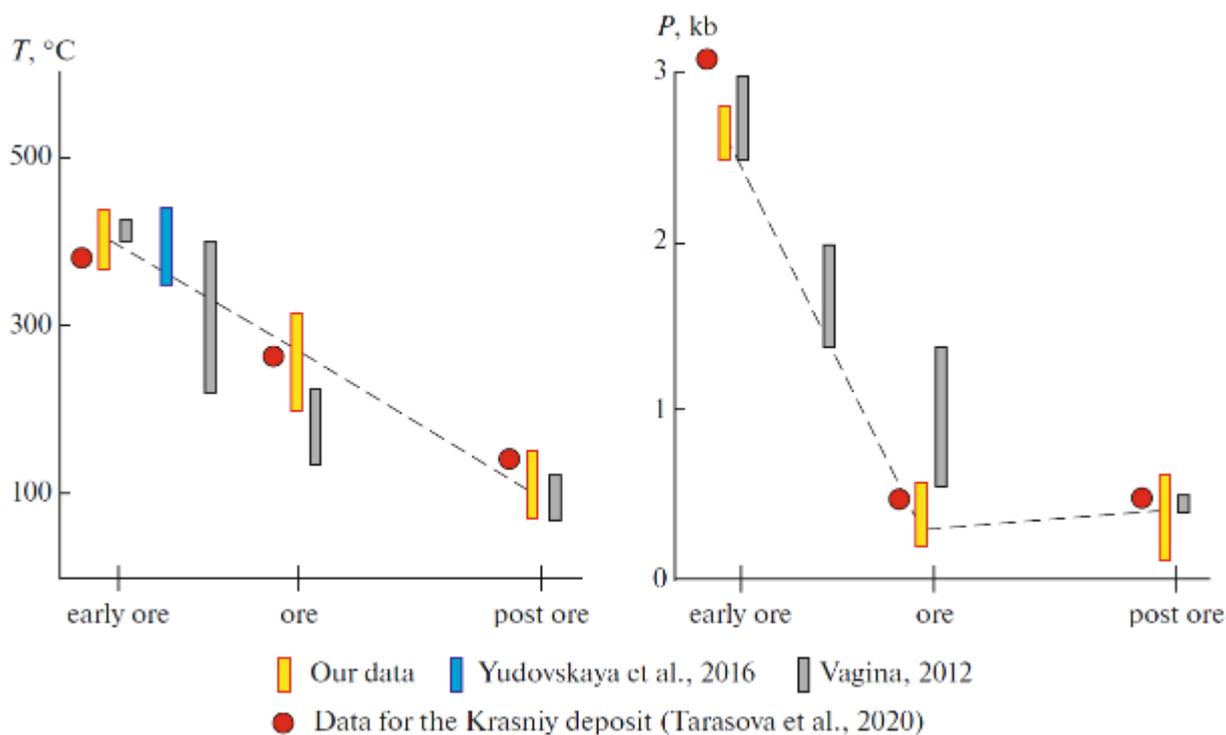


Рисунок 3 – Сравнение РТ-параметров флюидных включений по данным (Юдовская и др., 2016; Вагина и др., 2012)

Пострудная стадия характеризовалась еще более низкими температурами до (154–87°C), но более широким диапазоном давлений (0,1–0,6 кбар). Близкий изотопный состав углерода флюидных включений в кварце ранней рудной стадии ($\delta^{13}\text{C}$ в пределах от –16,9 до –17,8%) и стадии осаждения золота (от –16,6 до –17,9%), близкий таковому во вмещающих неопротерозойских отложениях и ранее опубликованным изотопным данным как для месторождения Чертово Корыто (Вагина и др., 2012) для других месторождений (Сухой Лог, Красный) (Юдовская и др., 2011; Tarasova et.al., 2020) предполагают равномерное наследование металлоносного флюида, богатого C–N–H–S, из вмещающих черносланцевых отложений. В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что весь процесс осадочной подготовки к метаморфическому перераспределению золота и других металлов в богатых углеродом флюидах месторождения Чертово Корыто определялся преимущественно вмещающими отложениями без какого-либо вклада постмагматической флюидной деятельности. Полученные данные согласуются с моделью орогенных месторождений типа Сухого Лога и указывают на одновременные и сходные рудообразующие процессы, накладывающие как неопротерозойские, так и палеопротерозойские толщи. (Tarasova Yu., Budyak A., Goryachev N., Skuzovatov S., Reutsky V., Gareev B., Batalin G., Nizamova A. The Role of Metamorphic Devolatilization in Building Orogenic Gold Deposits within Paleoproterozoic Organic-Rich Sediments: P-T-X

Thermobarometric and Carbon Isotopic Constraints from the Chertovo Koryto Deposit (Eastern Siberia). Russian Journal of Pacific Geology. (2022). 16 (4): 387-404 (01.08.2022) DOI: 10.1134/S1819714022040078 (ИФ = 1,047 Q4))

1.2 Геохимическая характеристика отложений Олоkitской структурно-формационной зоны и гигантского полиметаллического месторождения Холоднинское (Байкало-Патомское нагорье)

С целью выяснения источника полезного компонента месторождений Байкало-Патомского нагорья рассмотрены условия формирования геохимической специализации осадочных отложений единого дальнетайгинского стратиграфического уровня в результате гидротермальной деятельности в зоне рассеянного спрединга задугового бассейна. Исследование проводилось на примере Олоkitской зоны Северного Прибайкалья, и в частности на исследовании рудной минерализации месторождения Холоднинское.

Согласно проведенному анализу фондовых метериалов (Богданов и др., 2006; Дистанов и др., 1982) и статей в периодических изданиях [Будяк и др., 2019; Рыцк и др., 2001], а также собранному литолого-геохимическому материалу в рамках собственных исследований отложений Байкало-Патомского палеобассейна, реконструируется последовательный ряд обстановок осадконакопления, соответствующих задуговому бассейну. В данной схеме задуговой бассейн состоит из трех основных частей: 1) прибрежный шельф (Патомская зона) – отложения расположенные севернее Тонодского и Нечерского поднятий; 2) зона глубоководного дистального шельфа (Бодайбинская зона) – центральная часть Бодайбинского синклиория; 3) а южнее (Муйская зона) – непосредственно островодужная система [Конников и др., 1999; Станевич и др., 2006, Немеров и др., 2010]. Высказано мнение о том, что взрывная деятельность вулканических аппаратов южной Байкало-Муйской зоны, а также подводные взрывы зоны рассеянного спрединга задугового бассейна с большой вероятностью могли оказывать влияние на геохимические особенности амагматичных отложений Бодайбинской, Патомской зон. Для исследований влияния подводной гидротермальной деятельности на геохимические особенности неопротерозойских углеродсодержащих осадков БГО, была выбрана Олоkitская зона, являющаяся фрагментом спрединговой зоны задугового бассейна. По геохимическим параметрам отложения итыkitской и ондокской свит, вмещающих месторождения Рыбачье и Холоднинское, попадают в область осадконакопления палеобассейнов дальнетайгинского времени. В разрезе вулканогенно-

осадочных толщ БПН неопротерозойского времени, отложения ондокской свиты отличаются от подстилающих отложений (включая итыкитскую свиту вмещающую ряд полиметаллических рудопроявлений) повышенной общей «меланократовостью» пород и халькосидерофильной геохимической специализацией в соответствии с рисунком 4.

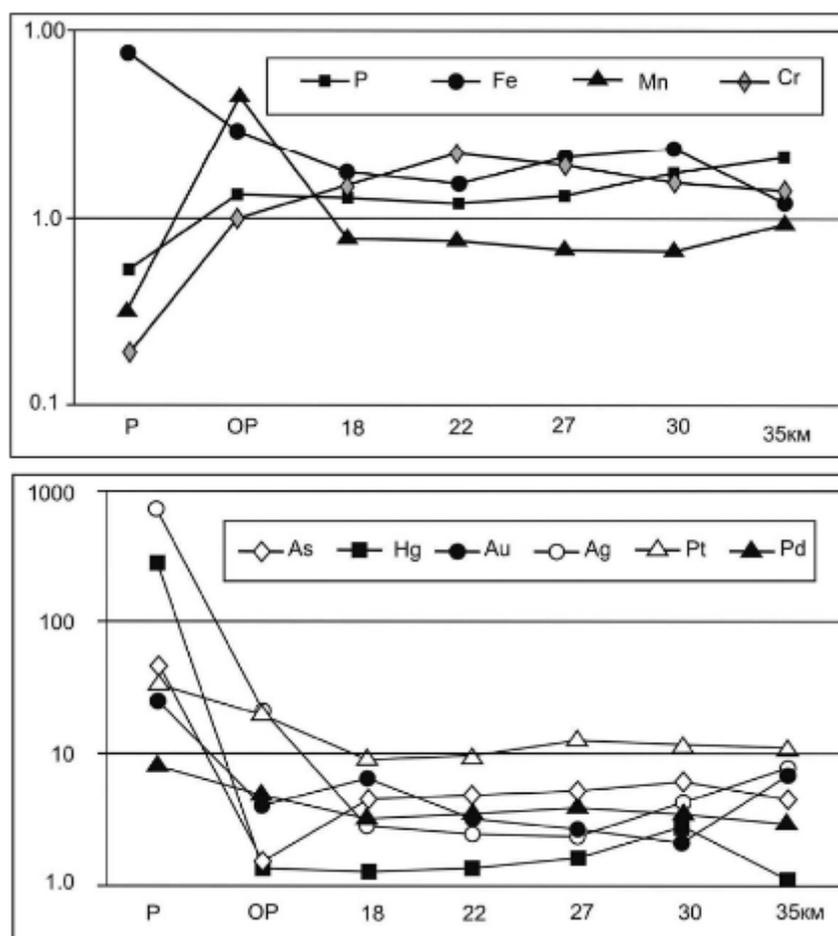


Рисунок 4 – Ореол распространения элементов в разрезе ондокской свиты по мере удаления от Холоднинского месторождения. P – рудная залежь месторождения; OP – околорудная зона; 18, 22, ..., 35 км – расстояние от месторождения. Содержания элементов нормированы к значениям местного фона

Руды месторождения характеризуются высокими содержаниями основных рудных элементов: Zn, Pb, Hg, Ag, Sb, As, Sb, Au. В рудах месторождения элементы халькофильной группы и железа преобладают над сидерофильной группой (Co, Ni, Cr, V).

Перечисленные признаки характерны для гидротерм островодужных бассейнов, андезитовый магматизм которых представлен толеитовой серией и находится на ранней стадии развития [Антипин, Макрыгина, 2008]. Резкое снижение концентрации Se и Cu в рудной зоне месторождения, в сравнении с черносланцевыми формированиями, также

связано с их отсутствием в гидротермальных эксгальциях в зоне спрединга задуговых бассейнов.

Было сделано заключение, что руды гидротермально-стратиформного полиметаллического месторождения Холоднинское формировались вблизи зоны спрединга задугового бассейна в пределах связанного с ним гидротермального поля, синхронно с осадконакоплением. Источником обогащения рудной зоны месторождения Zn, Pb, Ag и другими элементами, свойственными для низко- и среднетемпературных ассоциаций, являлся гидротермальный раствор задуговых бассейнов. Вероятно, эксплозивная и эксгальционная деятельности южной Байкало-Муйской зоны в пределах исследуемого региона имела распространение и дальше в северном направлении, тем самым, оказывая влияние на формирование сидерохалькофильной геохимической специализации амагматичных черносланцевых толщ Бодайбинской и Патомской зон.

С целью восстановления стадийности формирования месторождений Олокитской структуры, были проведены исследования рудной минерализации с месторождения Холоднинское. Главными рудными минералами в рудах Холоднинского свинцово-цинковые месторождения являются сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин; реже установлены арсенопирит, тенантит, тетраэдрит, бурнонит, самородное золото, рутил в соответствии с рисунком 5. Визуально руды характеризуются переменными соотношениями пирита, сфалерита и галенита, образующих полосы, чередующиеся с прослойками вмещающих сланцев, мощностью от долей сантиметра до 10 см.



Рисунок 5 – Сульфидная ассоциация рудного этапа месторождения Холоднинское

Пирит установлен в виде 4-х разновидностей: **Пирит-1** отмечается в рудах довольно редко, представлен фрамбоидами встречающимися в виде рассеянной вкрапленности или образующими скопления округлой формы в соответствии с рисунком 6. Также в скоплениях отмечаются идиоморфные кристаллы пирита-2. **Пирит-2** корродирует кристаллы пирита-1. В составе таких агрегатов и концентрически-зональных скоплениях отмечаются галенит и сфалерит, развивающиеся в центральной части агрегатов или заполняя межзерновое пространство между фрамбоидами пирита.



Рисунок 6 – Реликты фрамбоидного пирита ранней генерации в пирите поздних генераций

Пирит-3 наиболее часто устанавливается в рудных образцах и представляет собой ориентированные пойкилогранобластовые агрегаты. При травлении этих агрегатов выявляются реликты пирита-1 и 2 в виде самостоятельных редких зерен или почковидных и зональных образований. Такие выделения пирита-1 и пирита-2 можно отнести к первично образовавшимся из коллоидных растворов, но в дальнейшем претерпевшим частичную перекристаллизацию. Пирит-3 встречается в сростаниях со сфалеритом, галенитом, халькопиритом, кварцем и карбонатами. Отмечаются сростания как с единичными кристаллами перечисленных минералов, так и образующих совместные сростания всей минеральной ассоциации.

Пириты-4 развит в рудах незначительно и образует равномерную вкрапленность крупных (0.8 – 3.0 мм) зерен в полях галенита и сфалерита образующих шариковые руды, детально описанные в работе Э.Г. Дистанова с соавторами (1982). Крупные зерна имеют идиоморфные очертания с округлыми границами. Зерна пирита-4 по краям содержат цепочки закономерно ориентированных включений сфалерита, нередко содержат направленные или изометричные включения галенита.

Состав пирита изучен с помощью LA-ICP-MS и характеризуется рядом типоморфных особенностей. (1) Выделенные разновидности пирита имеют близкие величины отношения S/Fe, однако наблюдается тенденция к увеличению этого отношения от пирита-1, к пириту-4 (табл. 1). (2) В пирите установлены примеси меди, серебра, свинца, никеля, кобальта, цинка, мышьяка, золота, таллия, бария. К главной типоморфной особенности пирита следует отнести вариации содержания кобальта и никеля и их отношения. Для пирита-1, -2 и -3 характерно сопоставимое содержание никеля с кобальтом (Co/Ni колеблется в пределах 0,7 – 1,0). В пирите-3 содержание Co и Ni снижаются более чем в 5 раз, при этом отношение Co/Ni, остается в тех же значениях, как и для пирита-1 и -2. В пирите-4 отношение Co/Ni снижается до 0.3. Возросшее содержание Ni, предполагает изменение PT условий формирования, что возможно при геодинамической активизации региона, повлекшей за собой метаморфические преобразования (табл. 1).

Сфалерит представлен 2 разновидностями. **Сфалерит-1** развит весьма незначительно и ассоциирует с пиритом-1. Он образует глобулы размером 0,01 – 0,02мм, как правило, с оторочкой поперечно-волокнистого графита, или выполняет центральные части или отдельные зоны концентрически-зональных и колломорфных образований сульфидов. Глобулы сфалерита совместно с пиритом-1 и -2 образуют совместные скопления округлой формы. Реликты сфалерита-1 установлены в более крупных агрегатах пирита-3 и сфалерита-2.

Сфалерит-2 образует гнезда размером 0,1 – 2 мм в ассоциации с пиритом-3, галенитом и халькопиритом. В некоторых зернах сфалерита наблюдается эмульсионная вкрапленность халькопирита, иногда с галенитом. Границы срастаний сфалерита-2 с пиритом-3 ровные и слабо корродированные, с галенитом и халькопиритом – существенно коррозионные.

Таблица 1 – Состав сульфидов месторождения Холоднинское

	Py-1,2	Py-3	Py-4	Gln	Cpy	Spf
V	<u>22,90</u> 0,20-32,0	<u>23,33</u> 0,04-32,00	<u>16,12</u> 0,12-32,0	<u>23,36</u> 0,11-32,00	<u>24,10</u> 0,42-32,0	<u>25,77</u> 0,86-32,00
Cr	<u>410,14</u> 0,74-352	<u>322,0</u> 0,42-992	<u>67,13</u> 1,95-640,0	<u>1188,7</u> 8,0-19520	<u>212,64</u> 3,52-800	<u>535,87</u> 3,52-2240
Fe (%)	<u>33951</u> 68152-74200	<u>26982</u> 10070-100700	<u>26121</u> 12720-53000	<u>12761,31</u> 9,88-53000	<u>53120</u> 15680-150400	<u>10009,6</u> 2368-22720
Co	<u>27,23</u> 12,19-53,00	<u>6,08</u> 0,21-14,84	<u>3,68</u> 0,21-11,66	<u>6,91</u> 0,27-24,91	<u>32,00</u> 32,0-32,0	<u>25,85</u> 1,25-32,0
Ni	<u>30,54</u> 4,19-201,40	<u>7,66</u> 1,06-53,00	<u>11,79</u> 1,17-53,00	<u>10,68</u> 0,12-53,0	<u>16,88</u> 6,08-29,76	<u>20,84</u> 0,54-32,0
Cu	<u>36,35</u> 0,93-487,60	<u>5,54</u> 1,48-42,93	<u>4,84</u> 1,64-11,66	<u>8,94</u> 0,66-58,3	<u>19360,00</u> 16640-22080	<u>20,93</u> 7,04-64,0
Zn	<u>34,22</u> 2,60-201,40	<u>33,07</u> 1,17-530	<u>89,41</u> 5,25-530,0	<u>30,35</u> 2,08-201,4	<u>150,40</u> 108,8-208,0	<u>136960,00</u> 118400-147200
Ga	<u>39,42</u> 0,27-53,00	<u>47,27</u> 0,08-53,00	<u>41,79</u> 0,10-53,0	<u>13,78</u> 0,12-53,0	<u>24,22</u> 0,9-32,0	<u>8,72</u> 0,54-32,0
Ge	<u>22,54</u> 0,51-53,00	<u>10,26</u> 0,22-53,00	<u>4,67</u> 0,36-53,0	<u>11,52</u> 0,02-53,0	<u>17,44</u> 2,62-32,0	<u>26,01</u> 2,05-32,0
As	<u>76,14</u> 7,95-169,60	<u>56,20</u> 7,95-238	<u>43,23</u> 7,95-95,4	<u>43,29</u> 2,08-392,2	<u>16,64</u> 15,04-19,84	<u>16,06</u> 5,44-38,4
Ag	<u>1,61</u> н.о.-7,95	<u>3,82</u> 0,0-169,6	<u>2,47</u> 0,0-20,14	<u>266,30</u> 3,55-699,4	<u>158,16</u> 11,52-278,40	<u>70,68</u> 1,57-320
Sn	<u>0,22</u> н.о.-1,01	<u>0,17</u> 0,0-1,38	<u>0,21</u> 0,0-1,38	<u>4,45</u> 0,06-14,04	<u>10,80</u> 7,04-15,68	<u>3,08</u> н.о.-9,6
Sb	<u>10,66</u> н.о.-68,37	<u>7,49</u> 0,0-50,35	<u>12,49</u> 0,0-50,35	<u>188,82</u> 18,02-492,7	<u>11,91</u> 0,61-41,60	<u>55,04</u> н.о.-156,8
Ba	<u>4,43</u> н.о.-31,27	<u>0,98</u> 0,0-9,33	<u>1,79</u> 0,0-9,33	<u>1,93</u> 0,0-12,67	<u>1,83</u> 0,0-3,23	<u>1,25</u> н.о.-5,76
W	<u>0,02</u> н.о.-0,39	<u>0,01</u> 0,0-0,36	н.о.	<u>0,10</u> 0,0-0,64	н.о.	н.о.
Hg	н.о.	<u>0,33</u> н.о.-7,05	н.о.	<u>0,23</u> н.о.-5,14	<u>7,70</u> н.о.-13,12	<u>17,41</u> н.о.-36,80
Pb	<u>103,68</u> 0,39-837,4	<u>85,60</u> 0,19-874	<u>289,87</u> 101,23-874,5	<u>143653,4</u> 1293,2-224900	<u>326,63</u> 1,73-1248,0	<u>32409,28</u> 14,4-160000
Bi	<u>0,08</u> 0,01-0,28	<u>0,03</u> 0,02-0,65	<u>0,06</u> 0,01-0,65	<u>196,84</u> 0,0-448,0	<u>0,10</u> 0,06-0,42	<u>26,75</u> 0,06-133,76
Au	<u>0,04</u> н.о.-0,16	<u>0,05</u> н.о.-0,21	<u>0,04</u> н.о.-0,19	<u>0,02</u> н.о.-0,13	<u>0,04</u> н.о.-0,18	<u>0,14</u> н.о.-0,35

Халькопирит так же представлен двумя морфологическими разновидностями: **Халькопирит-1**. В виде характерной мелкой рассеянной эмульсионной вкрапленности в сфалерите, а также в виде крупных вытянутых выделений развивающихся по периферии зерен сфалерита-2. **Халькопирит-2**. В виде крупных изометричных агрегатов, часто вытянутой формы. Крупные зерна развиваются совместно с рудной ассоциацией, представленной пирротином, пиритом-3, сфалеритом-2, галенитом, теннантитом в соответствии с рисунком 7.

Галенит формирует крупные аллотриоморфные выделения на контакте с агрегатами сфалерита, пирротина. Агрегаты галенита часто имеют вытянутую форму. В виде включений в галените отмечается пирротин, повторяя морфологию галенита.

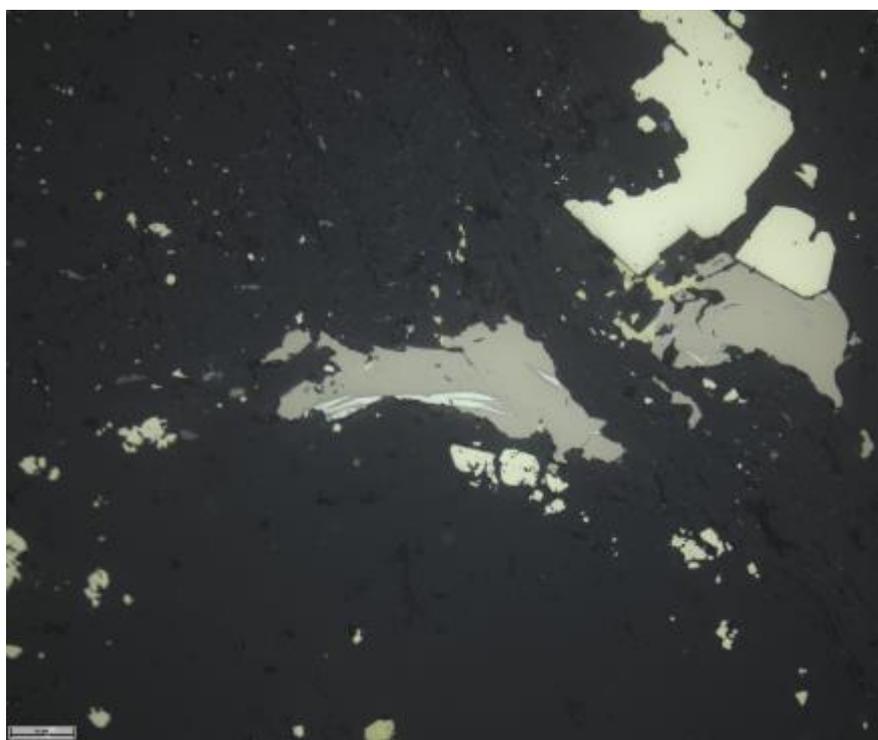


Рисунок 7 – Сульфидная ассоциация рудного этапа месторождения Холоднинское

Пирротин представлен в виде интерстициальных выделений на границе зерен пирита-3, халькопирита-2, сфалерита-2, галенита. В результате диагностического травления в пирротиновых агрегатах выявляются мелкие кубические кристаллики пирита-2 равномерно расположенные в пределах агрегата в соответствии с рисунком 8.

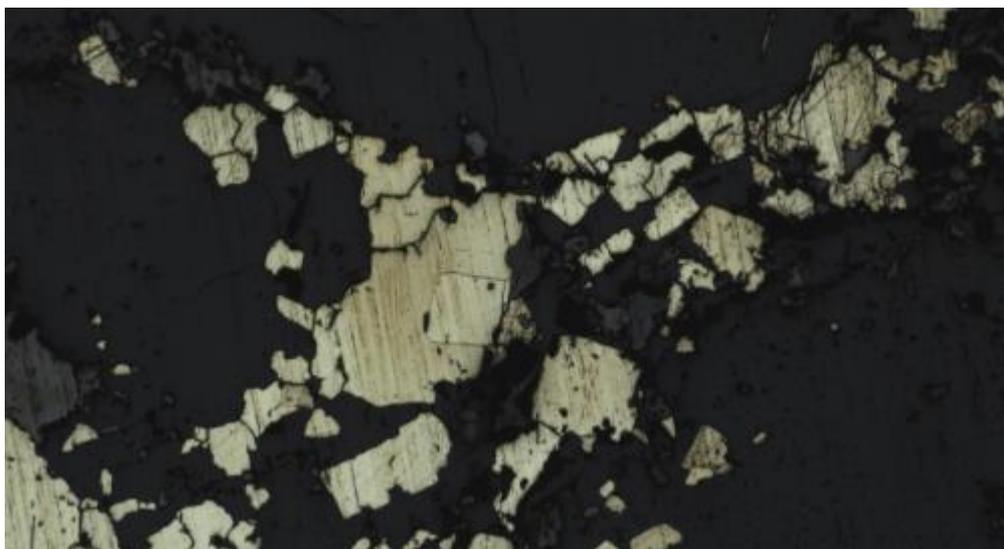


Рисунок 8 – Реликты пирита-2 в агрегате пирита-3

Кроме того, для разделения сульфидов по физико-химическим условиям их образования было проведено локальное изучение изотопных характеристик серы пирита. Для исследования были выбраны агрегаты пирита, предварительно протравленные азотной кислотой в соответствии с рисунком 9. Установлено, что первичные кристаллы пирита (фрамбоидной и кубической форм) характеризуются средними значениями $\delta^{34}\text{S}$ – +7.5 (минимальное – +6,7, максимальное – +9,0) ‰; поздние агрегаты пирита характеризуются средними значениями $\delta^{34}\text{S}$, ‰ +11,4 (минимальное – +9,7, максимальное – +14,2) ‰.

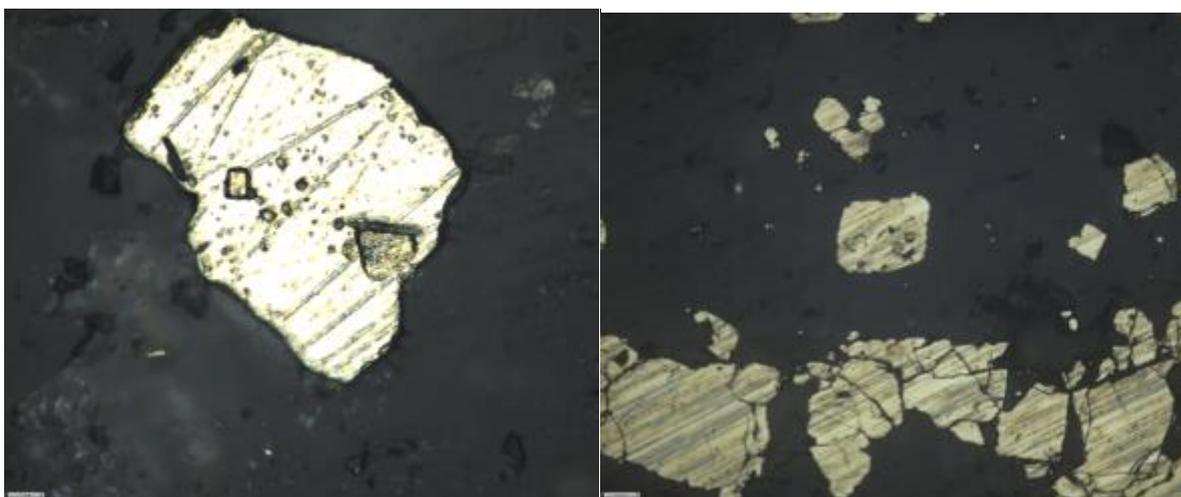


Рисунок 9 – Реликты пирита-1 и пирита-2 в более поздних генерациях, выявленные в результате диагностического травления

При изучении рудной минерализации в аншлифах была установлена следующая последовательность образования минералов: на ранней стадии в осадочных толщах были

сформированы микрокристаллы пирита-1 и -2, образующие сферические агрегаты, близодновременно с ними формируются аналогичные образования сфалерита-1. Позже при процессах повышения температуры и давления происходит замещение пирита пирротином с последующей кристаллизацией пирита-3, галенита, халькопирита и сфалерита-2 при постепенном снижении температуры. Формирование пирита-4 происходило при условиях, отличающихся от преемственной и собственно рудной стадий формирования месторождения. Таким образом при формировании рудной минерализации в пределах Олокитского прогиба предполагается как минимум три необходимых стадии: поступление гидротермального флюида, обогащенного среднетемпературными халькофильными элементами (Pb, Zn, Ag, Sb, в меньшей мере Au и ЭПГ). В результате чего, в области разгрузки гидротермального флюида формируется эксгалляционно-осадочное месторождение. Этап метаморфического воздействия, приводит к некоторому перераспределению полезного компонента, с отложением рудной минерализации на регрессивном этапе метаморфизма. Формирование пирита-4, не несущего рудной нагрузки, предполагается при наложенных геодинамических событиях, вероятно оторванных во времени от основной рудной стадии формирования. По всей вероятности, поступление гидротермального флюида в зону спрединга, является критически важным событием, для формирования, обогащенного дальнетайгинского стратоуровня, во всем Байкало-Патомском палеобассейне.

Полученные результаты работы лягут в основу статьи, которая будет сдана в печать в 2023 году.

Сопоставление Байкало-Патомского нагорья с Яно-Колымским орогенным поясом

В рамках сопоставления неопротерозойских-раннепалеозойских объектов Байкало-Патомского нагорья с похожими позднемезозойскими объектами восточного обрамления Сибирского кратона (Яно-Колымский орогенный пояс) изучены термоэлектрические свойства (ТЭДС) пирротина, пирита и арсенопирита золоторудных месторождений Яно-Колымского орогенного пояса и Бодайбинского синклиория, с использованием локального метода определения в аншлифах. В результате показано что этот параметр для пирита и арсенопирита является важным генетическим признаком происхождения этих минералов. Термоэлектрические свойства пирита и арсенопирита могут быть использованы не только для оценки температуры их образования, но и температурных параметров их метаморфизма, а также для характеристики генераций этих минералов. Разработка локальных методов измерения ТЭДС способствует возможности применения их для генетических построений, особенно при изучении золотого сульфидно-вкрапленного и жильно-прожилкового оруденения в структурах разновозрастных орогенных поясов.

(Горячев Н.А., Мишунин В.И., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Термоэкс сульфидов: возможности метода и значение для минералогических исследований, на примере изучения пирита и арсенопирита золоторудных месторождений восточного и южного обрамления Сибирского кратона // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2022, № 3 с. 14-30)

РАЗДЕЛ 2 Золоторудная минерализация районов Монголо-Охотского орогенного пояса в Забайкалье

В рамках второго направления было изучено три объекта: 1) Зун-Холбинское месторождение обрамления Гарганской глыбы, которое было изучено для сопоставления с объектами обрамления Северо-Муйской глыбы; 2) Верхне-Алиинское месторождение БалеЙского района; а также 3) рудопроявления Карийского рудного узла. Проведено сопоставление исследуемых объектов, расположенных в обрамлении Гарганской глыбы с объектами БалеЙского и Карийского рудных районов Забайкальского сегмента Монголо-Охотского орогенного пояса.

2.1. Золоторудная минерализация в обрамлении Гарганской глыбы.

Для месторождения Зун-Холба представлена новая точка зрения на геологию месторождений и его генезис. Кварц-сульфидные руды замещения и мелкие кварцевые жилы этого месторождения имеют большое экономическое значение. На месторождении преобладают кварц-колчеданные рудные тела, тогда как парагенетически поздние кварцевые жилы, содержащие цветные металлы, встречаются только на неглубоких уровнях. Изучение флюидных включений, стабильных изотопов (С–О–S) и минеральной геотермометрии позволили определить Р–Т условия рудоотложения. Установлено, что температура рудообразования изменялась от 433 до 380°C на самых глубоких горизонтах залежи до 316°C на самых мелких. Давление оценки отложений золота в 570–950 бар были рассчитаны для горизонта 1490 м в центре месторождения. Определенные Р–Т-условия позволяют оценить среднюю глубину образования руд около 3,6 км. Рудно-минеральные ассоциации формировались из однородных флюидов низкой и средней концентрации (2,4–7,9 мас. % экв. NaCl). Изотопный состав серы сульфидных минералов ($^{34}\text{S} = 0\text{--}4,6\text{‰}$), а также геохимия пирита соответствует более древнему вулканогенному оруденению VMS типа, проявления которого, широко распространены в пределах Восточно-Саянских офиолитовых поясов и метаморфизованные фрагменты тел которых присутствуют на месторождении Зун-Холба. Данные изотопии кислорода указывают на метаморфическое происхождение рудообразующих флюидов. Мигрирующие метаморфические флюиды могли обогащаться золотом, серой и другими металлами во время течения через литологически сложную толщу, в том числе и через офиолитовые тела с богатыми сульфидами фрагментами VMS, которые характеризуется относительно высоким содержанием золота и сопутствующих рудных элементов. Полученные данные позволяют нам предложить метаморфическую модель для генезиса золоторудного месторождения Зун-Холба. (Damdinov B.B., Goryachev N.A., Moskvitina M.L., Damdinova L.B., Izvekova

A.D., Reutsky V.N., Posokhov V.F., Artemyev D.A. Zun-Kholba Orogenic Gold Deposit, Eastern Sayan, Russia: Geology and Genesis. Minerals. (2022). 12(4): 395. (01.04.2022) DOI: 10.3390/min12040395 (ИФ = 2,818 Q2))

2.2. В рамках задания 2022 года было изучено месторождение золота Верхне-Алиинское БалеЙского рудного района. Месторождение золота Верхне-Алиинское входит в состав Мунгинского рудного узла и расположено на юго-восточном фланге БалеЙского рудного района Забайкалья (Никанюк, Мальцева, 2008; Абрамов, 2016). Оно ассоциирует с месторождениями Сосновским, Майским и Средне-Голготайским, образуя субширотную полосу орогенного золотого оруденения на южном фланге БалеЙского рудного района. Золотое оруденение указанных объектов пространственно и хронологически тесно сопряжено со средне-позднеюрским гранитоидным магматизмом (Абрамов, 2018). Само месторождение локализовано в штокообразном теле монцонит-гранодиоритового состава и представлено сульфидно-кварцевыми жилами, и минерализованными зонами протяженностью первые сотни метров субширотной ориентировки (Никанюк, Мальцева, 2008; Абрамов, 2016). По нашим наблюдениям по рудной жиле № 1-бис на подземном горизонте 725 м и жилам на поверхности на восточном фланге (участок Новый) рудная минерализация месторождения отличается минералогически от Средне-Голготайского (Гвоздев и др., 2020), Сосновского и Майского месторождений высокой сульфидностью продуктивных руд, редкостью находок минералов висмута и заметно меньшей ролью кварца в составе продуктивных ассоциаций. Главные рудные жилы полисульфидные двух типов: пирит-арсенопиритовые с кварцем и пирит-халькопирит-полиметаллические, иногда оба типа сочетаются в едином рудном теле. Вертикальная зональность проявляется в меньшей степени кристалличности кварца на поверхности восточного фланга месторождения. В пределах месторождения нами выделяется два этапа формирования гидротермальной минерализации: ранний турмалин-мусковит-кварцевый, связанный с ундинскими гранитами, и поздний, собственно рудный, в составе которого иногда отмечается, помимо кварца и сульфидов, вторая генерация турмалина. В пользу этого свидетельствуют наблюдения пересечения турмалиновых полос, заметно проявленных в ундинских гранитах, прожилками кварца с сульфидами на восточном фланге месторождения. В пределах второго этапа, судя по наблюдениям на восточном фланге, предполагается две фазы формирования жильной минерализации, ранняя – жилы халцедоновидного кварца с обильной (до 80-90%) арсенопирит-полиметаллической минерализацией, имеющие субширотную ориентировку (азимут простирания 270-275 градусов), и поздние субмеридиональные жилы незолотоносного (по данным рудничных геологов) халцедона с небольшим количеством сульфидной

минерализации. По результатам ранее проведенных работ (Никанюк, Мальцева, 2008, 2009; Мальцева, Никанюк, 2011) и на основании наших наблюдений, проведенных в этом году, можно наметить такую общую последовательность минерализации в пределах рудного поля: I - дорудные турмалин и жилы нормального гидротермального постмагматического кварца практически без сульфидов, связанные с ундинскими гранитоидами; II - жилы и минерализованные зоны с двумя стадиями - кварца с пиритом, арсенопиритом и сульфидами – первой продуктивной и халцедоновидного кварца с золото-полиметаллической, иногда с турмалином, минерализацией – второй продуктивной, они секут дайки гранит-порфиров жильной фации рудовмещающего интрузива, и III – халцедоновые жилы с сульфидами поздние непродуктивные. Сочетание продуктивных жил разнотипного кварца может свидетельствовать о меньшей глубине формирования Верхне-Алиинского месторождения по сравнению с другими месторождениями южного фланга Балецкого рудного района. (Горячев Н.А., Никанюк Т.С., Будяк А.Е. О рудной минерализации Верхне-Алиинского месторождения (Забайкальский край, Россия) // Материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых) «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 22-25 ноября 2022 г.), Т.1 – Иркутск: ИГХ СО РАН 2022 с.147-148)

3.3. Рудопроявления Карийского рудного узла. Согласно заявленному заданию 2022г, был дополнительно исследованы ряд объектов Карийского рудного узла. Была проведена апробация нового методического подхода к расшифровке эволюции рудно-магматических систем (РМС). Подход основан на изучении геохимических полей, связанных с различными этапами эволюции магматического очага, сопровождающегося рудной минерализацией. В качестве материала для исследований использовались результаты геохимических съемок по потокам рассеяния в пределах малых объектов Карийского рудного узла (Восточное Забайкалье). Выполненный анализ особенностей состава и последовательности выделения геохимических полей позволил более детально взглянуть на эволюцию Карийской РМС. Было установлено, что в пределах участка работ в настоящее время имеется сильно эродированная редкометалльная РМС, сформированная в два этапа рудообразования. Первый этап рудообразования связан с эволюцией верхней магматической камеры (апикальной части Кара-Чачинского массива). Главным полезным компонентом этой РМС был Mo в соответствии с рисунком 10. Второй этап развития РМС связан с эволюцией нижней магматической камеры. Эта минерализация также была редкометалльной, ее профилирующими элементами были W и Mo, однако главным полезным компонентом является Au (рис. 10б). Было установлено, что Au мобильно на двух

этапах эволюции поздней РМС и накапливается при наложении одной стадии минерализации на другую.

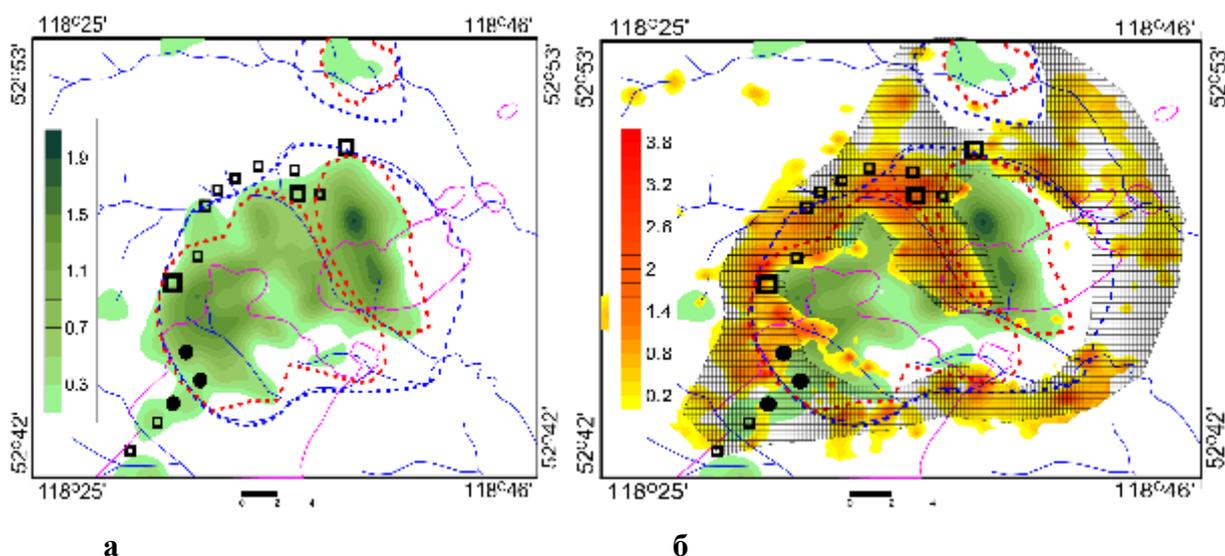


Рисунок 10 – Зоны комплексного геохимического ореола. а – ореолы вольфрамит-молибденит-кварцевой ассоциации; б – комплексный ореол золота. В левой части каждого рисунка дана шкала, характеризующая величину значения фактора (отражает интенсивность накопления элементов ассоциации)

Учитывая то, что Au не входит в элементные ассоциации, связанные с эволюцией ранней гидротермальной системы, было необходимо решать вопрос об его источнике.

В качестве источника Au могут рассматриваться гранитоиды Кара-Чачинского массива. Не менее вероятной является гипотеза о поступлении его вместе с В с нижних уровней магматической системы, либо в составе трансмагматических флюидов из-за ее пределов.

РАЗДЕЛ 3. Общие вопросы рудогенеза

В рамках современного востребования приложения данных фундаментальной науки для решения прикладных задач и по вопросам развития минерально-сырьевой базы Бодайбинского и Забайкальского регионов сделана следующая работа.

(1) Проведён исторический анализ ситуации в геологической науке и практике в России. Показано значение геологической отрасли в жизни страны, рассмотрены проблемы фундаментальной и прикладной науки, а также подготовки кадров для отрасли. Отмечена важная роль Российской академии наук в работе и развитии академических институтов геологического профиля. Предложено создать Федеральную геологическую службу РФ в ранге самостоятельного агентства с главной функцией геологического изучения территории страны для нужд государства и общества. (Горячев Н. А., Кузьмин М. И., Ярмолюк В. В., Диденко А. Н., Петров О. В., Гладкочуб Д. П., Оганов А. Р., Кузнецова А. Н., Верниковский В.А., Шацкий В. С., Котов А. Б., Перепелов А. Б., Нужны ли геология и минеральные ресурсы Российской Федерации? // Вестник Российской Академии Наук, 2022, том 92, № 9, с. 825-836)

(2) Показан авторский подход на решение прогнозно-поисковых задач при исследовании золотоносных и порфириновых рудообразующих систем с применением геохимических методов поисков в комплексе с петрографическими и минералогическими работами, в рамках геологических маршрутных наблюдений. Примеры изучения ряда золоторудных объектов Байкало-Патомского и золоторудных и медно-порфириновых объектов Забайкальского регионов показывают, что результаты площадных геохимических поисков, в сочетании с данными петрографического и минералогического изучения магматических, метасоматических и рудных образований, выявляемых на конкретных площадях, позволяют дать более надежную локальную оценку перспектив, изучаемых территории на конкретный тип рудной минерализации. (Будяк А.Е., Ефремов С.В., Скузоватов С.Ю., Горячев Н.А., Тарасова Ю.И.; Марчук О.И., Блинов А.В., Просекин С.Н., Горячев И.Н., Савченко В., Будяк А.А., Жарикова А.А., Черкашина Д.А. Комплексные исследования разнотипных рудообразующих систем в прогнозно-поисковых целях // Материалы Всероссийской конференция (с участием зарубежных ученых) «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 22-25 ноября 2022 г.), Т.1. – Иркутск; ИГХ СО РАН, 2022, с.76-79)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные морфологические, геохимические и изотопные характеристики выявленных генераций сульфидов железа месторождений Угахан, Чертово Корыто и Холоднинское отражают единую эволюцию рудообразующей системы во время их формирования. Новые данные по типоморфизму минералов железа на рассмотренных объектах показали важную роль пирита как индикатора условий формирования рудной минерализации, который по составу, изотопии серы, морфологическим особенностям характеризуется полной однотипностью генераций, несмотря на столь разное геологическое и стратиграфическое положение месторождений. Это подтверждается сравнением с ранее изученными объектами не только в минералогических данных, но и по новым результатам датирования в пределах ряда месторождений Бодайбинского региона (Chugaev et.al., 2022). Это предполагает единую генетическую модель формирования данной минерализации в регионе, на совершенствование которой нацелен наш проект.

Подтверждена метаморфогенно-метасоматическая модель формирования месторождений Сухоложского типа для отложений михайловской свиты палеопротерозойского возраста (кевактинский стратиграфический уровень) и бужуихтинской свиты неопротерозойского возраста (дальнетайгинский стратиграфический уровень). Согласно полученным в рамках проекта данным, гидротермальный флюид зоны рассеянного спрединга задугового палеобассейна, мог являться источником полезного компонента как для формирования золоторудных месторождений БПН, так и для полиметаллических месторождений и рудопроявлений Олокитской СФЗ.

Изучение флюидных включений, стабильных изотопов (C–O–S) и минеральной геотермометрии позволили определить P–T условия рудоотложения для месторождения Зун-Холба в интервале от 433 до 316°C, при давлении от 570 до 950 бар, что позволило определить среднюю глубину образования руд около 3,6 км. Рудно-минеральные ассоциации формировались из однородных флюидов. Изотопный состав серы сульфидных минералов ($^{34}\text{S} = 0-4,6\text{‰}$), а также геохимия пирита соответствует более древнему вулканогенному оруденению VMS типа. Данные изотопии кислорода указывают на метаморфическое происхождение рудообразующих флюидов. По результатам работ на золоторудном месторождении Зун-Холба была представлена метаморфическая модель его генезиса.

По результатам проведенной работы на месторождении золота Верхне-Алиинское Мунгинского рудного узла, выделены два этапа формирования гидротермальной минерализации: ранний турмалин-мусковит-кварцевый, связанный с ундинскими гранитами, и поздний, собственно рудный, кварц-сульфидный с турмалином. На основании

наблюдений, проведенных в 2022 году, получен предварительный вывод, что сочетание продуктивных жил разнотипного кварца в пределах Верхне-Алиинского месторождения может свидетельствовать о меньшей глубине его формирования по сравнению с другими месторождениями южного фланга Балейского рудного района.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Абрамов Б.Н. Новые данные о формировании Верхне-Алиинского золоторудного и Нойон-Тологойского полиметаллического месторождений (Восточное Забайкалье) // Геосферные исследования. - 2018. - № 3. - С. 34–42.
3. Антипин В. С., Макрыгина В. А. Геохимия эндогенных процессов: учебное пособие. - Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2008. - 363 с.
4. Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалевиц А. М., Гурвич Е. Г. Гидротермальный рудогенез осадочного дна. - М.: Наука, 2006. - 527 с.
5. Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Тарасова Ю.И., Ванг К.-Л. (Kuo-Lung Wang), Горячев Н.А. Единая неопротерозой-раннепалеозойская эволюция рудоносных осадочных комплексов юга Сибирского кратона. Доклады академии наук. - 2019. - Т. 484. - № 3. – С. 80–84.
6. Вагина Е.А. Состав флюидных включений золоторудного месторождения Чертово Кормыто // Материалы XV Всероссийской конференции по термобарогеохимии. / М.: ИГЕМ РАН, 2012. - С.23-24.
7. Гвоздев В.И., Гребенникова А.А., Вах А.С., Горячев Н.А., Федосеев Д.Г. Эволюция процессов минералообразования при формировании золото-редкометалльных руд Средне-Голготайского месторождения (Восточное Забайкалье). Тихоокеанская геология. – 2020. – Т. 39. - № 1. -С.70–91.
8. Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Тарасова Р.С. и др. Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение в докембрии Прибайкалья. М.: Наука, 1982. - 206 с.
9. Конников Э.Г., Цыганков А.А., Врублевская Т.Т. Байкало-Муйский вулканоплутонический пояс: структурно-вещественные комплексы и геодинамика. М.: ГЕОС, 1999. - 163 с.
10. Лаверов Н.П., Чернышев И.В., Чугаев А.В., Баирова Э.Д., Гольцман Ю.В., Дистлер В.В., Юдовская М.А. Этапы формирования крупномасштабной благороднометалльной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения. Доклады Академии наук. - 2007. - Т. 415. - № 2. - С.236-241.

11. Мальцева Г.Д., Никанюк Т.С. Уловия формирования оруденения некоторых гидротермальных месторождений золота. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. - 2011. - №2 (39). - С.25–30.
12. 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. - Т. 51. - № 5. - С. 729–747.
13. Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. Вещественный состав руд Верхне-Алиинского месторождения. Известия Сибирского отделения секции наук о земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. - 2008. -№6 (32). - С.50–59.
14. Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. Вещественный состав – основа для технологической оценки золотосодержащих руд Верхне-Алиинского месторождения. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. - 2009. -№ 1 (34). - С. 69–76.
15. Паленова Е.Е., Белогуб Е.В., Плотинская О.Ю., Новоселов К.А., Масленников В.В., Котляров В.А., Блинов И.А., Кузьменко А.А., Грибоедова И.Г. Эволюция состава пирита на золоторудных месторождениях Копыловское и Кавказ в черносланцевых толщах (Бодайбинский район, Россия) по данным РСМА и ЛА-ИСП-МС. Геология рудных месторождений. - 2015. - Т. 57. - № 1. - С. 71-92.
16. Рыцк Е.Ю., Амелин Ю.В., Ризванова Н.Г., Крымский Р.Ш., Митрофанов Л.Г., Митрофанова Н.Е., Переляев В.И., Шалаев В.С. Возраст пород Байкало-Муйского складчатого пояса. Стратиграфия. Геологическая корреляция. - 2001. - Т. 9. - № 4. - С.3–15.
17. Станевич А. М., Немеров В. К., Чатта Е. Н. Микрофоссилии протерозоя Саяно-Байкальской складчатой области. Обстановки обитания, природа и классификация. Новосибирск: Гео, 2006. - 204 с.
18. 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 (01.05.2022). DOI: 10.1016/j.oregeorev.2022.104855
19. Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., Danyushevsky L.V., Chang Z. Multistage Sedimentary and Metamorphic Origin of Pyrite and Gold in the Giant Sukhoi Log Deposit, Lena Gold Province, Russia. Economic Geology. 102. - 2007. - (7). - P. 1233–1267. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.7.1233>.
20. Meffre S., Large R.R., Scott R.J., Woodhead J., Chang Z., Gilbert S.E., Danyushevsky L.V., Maslennikov V.V., Hergt J.M. Age and Pyrite Pb-Isotopic Composition of the Giant Sukhoi Log Sediment-Hosted Gold Deposit, Russia. Geochimica et Cosmochimica Acta. - 2008. - 72. -

(9). - P.2377–2391. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.03.005>.

21. Tarasova Y.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. - Vol. 119. – P.103365. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103365

22. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Prokofiev V.Yu., Akinfiyev N.N. Gold mineralisation and orogenic metamorphism in the Lena province of Siberia as assessed from Chertovo Koryto and Sukhoi Log deposits. *Geoscience Frontiers*. - 2016. - V. 7. - P. 453–481.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Публикации по теме

1. 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. ^{40}Ar - ^{39}Ar 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, V. 144, art. № 104855. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2022.104855

2. 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.

3. Tarasova Yu., Budyak A., Goryachev N., Skuzovatov S., Reutsky V., Gareev B., Batalin G., Nizamova A. The Role of Metamorphic Devolatilization in Building Orogenic Gold Deposits within Paleoproterozoic Organic-Rich Sediments: P-T-X Thermobarometric and Carbon Isotopic Constraints from the Chertovo Koryto Deposit (Eastern Siberia) // *Russian Journal of Pacific Geology*, 2022, V.16, №4, p. 387-404. (01.08.2022) DOI: 10.1134/S1819714022040078.

4. Горячев Н.А., Мишунин В.И., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Термоэкс сульфидов: возможности метода и значение для минералогических исследований, на примере изучения пирита и арсенопирита золоторудных месторождений восточного и южного обрамления Сибирского кратона // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2022, № 3, с. 14-30.

5. Damdinov B.B., Goryachev N.A., Moskvitina M.L., Damdinova L.B., Izvekova A.D., Reutsky V.N., Posokhov V.F., Artemyev D.A. Zun-Kholba Orogenic Gold Deposit, Eastern Sayan, Russia: Geology and Genesis // *Minerals*, 2022, V.12 (4), p. 395. DOI: 10.3390/min12040395

6. Ванин В.А., Мазукабзов А.М., Юдин Д.С., Блинов А.В., Тарасова Ю.И. Наложенные деформации герцинского времени в структуре месторождения Голец Высочайший (Байкало-Патомский пояс), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данные // Геодинамика и тектонофизика, 2022, Т. 13, № 1, статья 0575. DOI: 10.5800/GT-2022-13-1-0575

7. 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. DOI: 10.1134/S1075701522070108

8. Горячев Н.А., Никанюк Т.С., Будяк А.Е. О рудной минерализации Верхне-Алиинского месторождения (Забайкальский край, Россия) // Материалы Всероссийской конференция (с участием зарубежных ученых) «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 22-25 ноября 2022 г.), Т.1 – Иркутск: ИГХ СО РАН, 2022, с.147-148

9. Будяк А.Е., Ефремов С.В., Скузоватов С.Ю., Горячев Н.А., Тарасова Ю.И.; Марчук О.И., Блинов А.В., Просекин С.Н., Горячев И.Н., Савченко В., Будяк А.А., Жарикова А.А., Черкашина Д.А. Комплексные исследования разнотипных рудообразующих систем в прогнозно-поисковых целях // Материалы Всероссийской конференция (с участием зарубежных ученых) «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 22-25 ноября 2022 г.), Т.1. – Иркутск: ИГХ СО РАН, 2022, с.76-79

10. Горячев Н. А., Кузьмин М. И., Ярмолук В. В., Диденко А. Н., Петров О. В., Гладкочуб Д. П., Оганов А. Р., Кузнецова А. Н., Верниковский В.А., Шацкий В. С., Котов А. Б., Перепелов А. Б., Нужны ли геология и минеральные ресурсы Российской Федерации? // Вестник Российской Академии Наук, 2022, Т. 92, № 9, с. 825-836.