

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ

ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО  
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.4:551.2  
№ госрегистрации АААА-А17-  
117041910033-8

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИГХ СО РАН

д.г.-м.н. \_\_\_\_\_ А.Б. Перепелов

« 25 » \_\_\_\_\_ января \_\_\_\_\_ 2019  
г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ТИПЫ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЙ ЦВЕТНЫХ И  
БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТИЛЯ  
ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ.  
ГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

№ 0350-2016-0032  
(промежуточный)

Приоритетное направление IX.130. Рудообразующие процессы, их эволюция в истории Земли, металлогенические эпохи и провинции и их связь с развитием литосферы. Условия образования и закономерности размещения полезных ископаемых

Программа IX.130.3. Формирование и эволюция рудно-магматических систем различных геодинамических обстановок

Научный руководитель темы

25.01.19 \_\_\_\_\_ к.г.-м.н. А.Е. Будяк  
подпись, дата

Иркутск, 2019

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы, кандидат геолого- минералогических наук	_____	А.Е. Будяк
Ответственные исполнители темы:		
член-корреспондент РАН	_____	Н.А. Горячев
	подпись, дата	(раздел 1)
д-р геолого- минералогических наук	_____	Р.Г. Кравцова
	подпись, дата	(раздел 2)
кандидат геолого- минералогических наук	_____	А.Е. Будяк
	подпись, дата	(раздел 3)

УДК 550.4:551.2

## РЕФЕРАТ

Отчет включает 22 стр., 10 илл. 3, табл. 1, 31 ист.

Ключевые слова: геохимия, минералогия, структура минералов, структура рудных полей, благородные металлы, золоторудное месторождение, метасоматиты, руды, генезис месторождения.

Объектом исследования являются геохимические особенности разнотипных рудно-магматических систем благородных металлов, формирующихся в различных геодинамических обстановках, построение их геохимических и генетических моделей и разработка комплекса геохимических методов прогноза и поисков месторождений.

Объекты исследований расположены на территориях Приколымья, Приохотья, Забайкалья, Прибайкалья Центрально-Азиатского орогенного пояса.

Получены важнейшие результаты:

- в результате металлогенического анализа ранней истории Земли показано, что наиболее ранняя минерализация благородных металлов представлена золотом и платиноидами, сформировавшими важные месторождения в период 3.1-2.0 млрд лет.;

- бриолитогеохимические потоки рассеяния являются составной частью литохимических потоков рассеяния и наравне с ними могут эффективно использоваться для выявления геохимических аномалий и оценки их рудно-формационной принадлежности;

- бриолитогеохимические потоки рассеяния в значительной степени отражают особенности вещественного состава первичных руд;

- в разрезе неопротерозойских углеродсодержащих толщ Ленской золотоносной провинции наиболее значимым является дальнетайгинский-жуинский горизонт, обладающий сидерофильной специализацией и надкларковыми содержаниями Au, Ag, Pb, Zn, Ba, P, Mn;

- в пределах Олокитского полиметаллического (Ba-Pb-Zn) района все месторождения и рудопроявления (Pb-Zn – Холоднинское, Овгольское и др.; Ba-Pb-Zn – Йоко-Рыбачье, Ондоко и др.) также приурочены к единому горизонту, представленному итыкитской и ондокской свитами.

## Содержание

Обозначения и сокращения	5
Введение	6
Раздел 1. Анализ возраста платинометалльного оруденения и соответствующих типов месторождений элементов платиновой группы в процессе изменения стилей тектонических движений.	7
Раздел 2. Геохимия и условия образования месторождений благородных металлов, в том числе крупных и уникальных, в складчатых структурах Северо-Востока России, критерии их поисков и оценки	10
Раздел 3. Вклад ювенильного вещества и их роль в формировании крупных и уникальных месторождений золота, связанных с черносланцевыми горизонтами	16
Основные результаты проведённого исследования	17
Список использованных источников	18
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Перечень публикаций по тематике проекта в 2018 г.	21

## Обозначения и сокращения

РМС – рудно-магматическая система

ОЧВП – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс

ЛД–тектоника – тектоника покрывки

БЛПР – бриолитогеохимические потоки рассеяния

ЛПР – литогеохимические потоки рассеяния

ЛЗР – Ленский золоторудный район Бодайбинского синклинория

ОПР – Олоkitский полиметаллический (Ba-Pb-Zn) район

## ВВЕДЕНИЕ

Целью проекта является: выявление условий изменения металлогении в геологической истории Земли, изучение геологических и минералого-геохимических процессов рудообразования месторождений различных формационных типов в благороднометалльных рудно-магматических системах, сформированных в определенных геодинамических обстановках Забайкалья, Прибайкалья, Монголии, Северо-Востока России, вещественного состава руд, метасоматитов, источников рудного вещества, состава металлоносных флюидов, геохимических критериев поисков и оценки рудных месторождений.

В 2018 решены следующие задачи:

- в результате металлогенического анализа ранней истории Земли показано, что наиболее ранняя минерализация благородных металлов представлена золотом и платиноидами, сформировавшими важные месторождения в период 3.1-2.0 млрд лет;

- бриолитогеохимические потоки рассеяния являются составной частью литохимических потоков рассеяния и наравне с ними могут эффективно использоваться для выявления геохимических аномалий и оценки их рудно-формационной принадлежности;

- бриолитогеохимические потоки рассеяния в значительной степени отражают особенности вещественного состава первичных руд;

- в разрезе неопротерозойских углеродсодержащих толщ Ленской золотоносной провинции наиболее значимым является дальнетайгинский-жуинский горизонт, обладающий сидерофильной специализацией и надкларковыми содержаниями Au, Ag, Pb, Zn, Ba, P, Mn;

- в пределах Олокитского полиметаллического (Ba-Pb-Zn) района все месторождения и рудопроявления (Pb-Zn – Холоднинское, Овгольское и др.; Ba-Pb-Zn – Йоко-Рыбачье, Ондоко и др.) также приурочены к единому горизонту, представленному итыкитской и ондокской свитами.

## **Раздел 1. Анализ возраста платинометалльного оруденения и соответствующих типов месторождений элементов платиновой группы в процессе изменения стилей тектонических движений**

В рамках этапа проведен металлогенический анализ ранней истории Земли, который показал, что наиболее ранняя минерализация благородных металлов представлена золотом и платиноидами, сформировавшими важные месторождения в период 3.1-2.0 млрд лет. При этом месторождения элементов платиновой группы тяготеют к концу архея – началу раннего протерозоя и связаны глубинными мантийными интрузивами плюмовой природы. Эволюция магматизма Земли представлена на рисунке 1. Такая обстановка на Земле, выделяемая как LID-тектоника (тектоника покрывки), совмещенная с тектоникой плюмов, существовала на Земле до начала переходного периода, он ознаменовался рядом новых геологических процессов и к 2.0 млрд лет привел к современной тектонике Земли, которая характеризуется совместным проявлением тектоники плит и тектоники плюмов. Переходный период смены тектонических движений на Земле начался со времени 3.4 млрд лет, когда происходило разделение ядра Земли на внутреннее железное и внешнее жидкое. Начиная с 3.4—3.3 млрд лет произошло значительное увеличение типов месторождений полезных ископаемых, среди рудных месторождений главную роль играли благородные и сидерофильные металлы. Только к возрасту 2.0 млрд лет отмечается образование карбонатитов с редкометалльным типом минерализации. Обращает также на себя внимание факт, что мантийные производные гадея и раннего архея не сопровождалась благороднометалльной (в том числе и платиноидной) минерализацией, что свидетельствует об отличных тектонических механизмах развития Земли в это время (тектоника покрывки) от позднего архея.

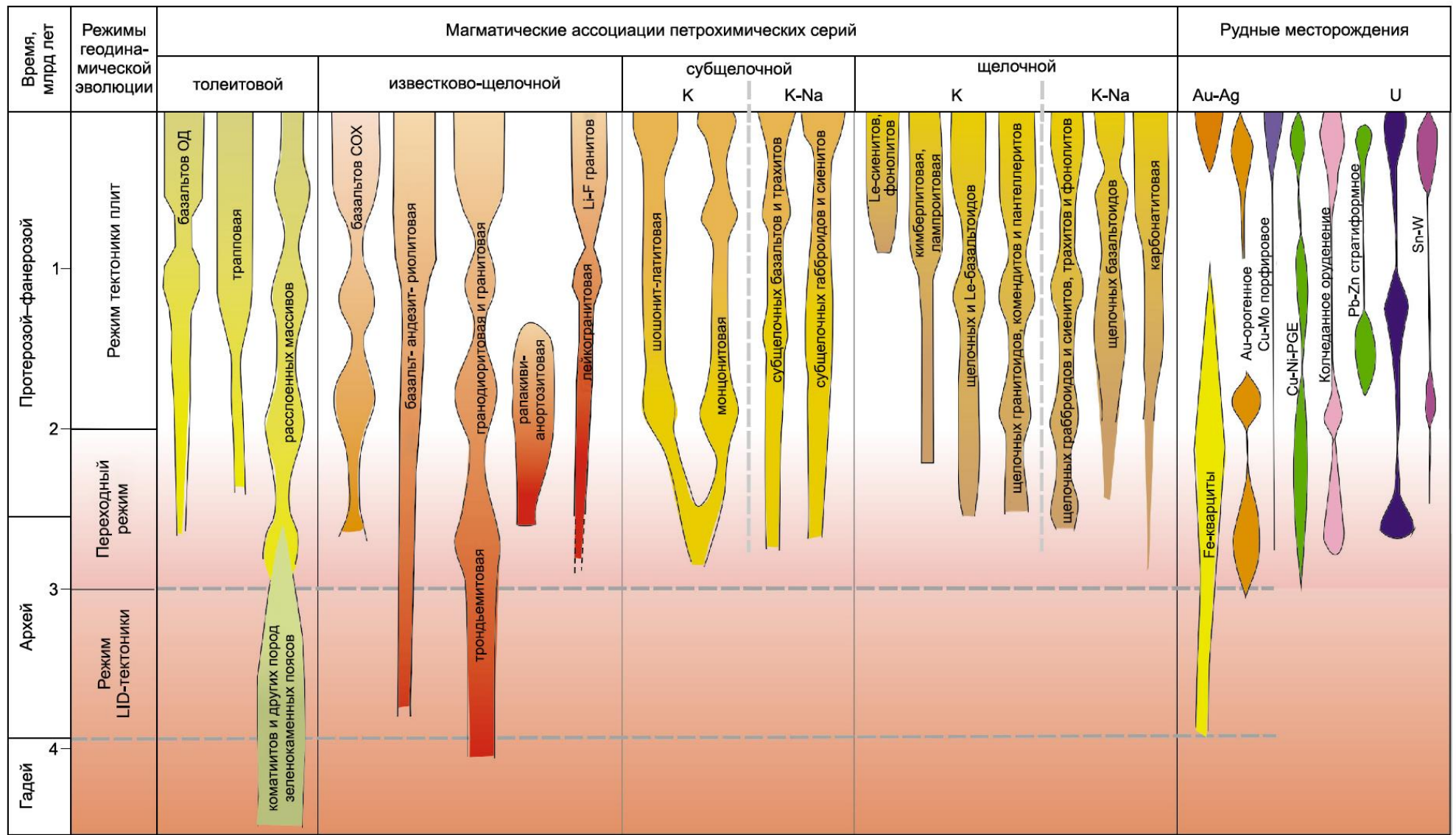


Рисунок 1 – Схема эволюции магматизма и рудообразования в геологической истории Земли. Оставлена по данным (Эволюция ... Земли, 1987).



## Раздел 2. Геохимия и условия образования месторождений благородных металлов, в том числе крупных и уникальных, в складчатых структурах Северо-Востока России, критерии их поисков и оценки

Впервые на территории Северо-Восток России на площади Дукатского рудного поля (Au-Ag месторождение Дукат и Au-Ag рудопоявление Пиритовый) были выполнены бриолитохимические исследования. Опробование осуществлялось по водотокам I-го порядка, дренирующим Au-Ag рудные зоны, и было обусловлено тем, что в условиях криолитозоны в вершинах водотоков скопления аллювиальных отложений фрагментарны или полностью отсутствуют, но при этом по их берегам и руслу произрастают водные и полуводные мхи. Отбирались пробы, состоящие из моховых подушек и удерживаемых ими рыхлых отложений, представленных тонкими илистыми взвесями и песчано-илистым материалом в соответствии с рисунком 2.



Рисунок 2 – Песчано-илистый материал в моховых подушках, произрастающих по берегам и руслам верховьев водотоков. На врезке: стебель бриевых мхов (а) с ризоидным войлоком (б). Au-Ag месторождение Дукат (рч. Чайка).

Показано, что моховые подушки являются эффективной природной ловушкой, позволяющей извлекать из водной взвеси современных водотоков, даже временных, тонкодисперсные, ультрадисперсные и коллоиднодисперсные частицы, в том числе рудные. Проведено сопоставление содержаний основных элементов-индикаторов Au-Ag оруденения (Au, Ag, As, Pb, Zn) в бриолитохимических и литохимических пробах. Установлено, что наиболее высокими концентрациями этих элементов характеризуются бриолитохимические пробы, в соответствии с таблицей 1.

С помощью сцинтилляционного анализа показано преобладание тонкодисперсных частиц Au и Ag в бриолитохимических пробах. Методом РСМА изучен вещественный состав литочастиц, а также возможные формы нахождения элементов-индикаторов оруденения. Изучение полированной поверхности образцов в режиме обратно рассеянных

электронов и в рентгеновских лучах показало, что большая часть изученных проб состоит из частиц озоленных мхов и литочастиц, а также их спекшихся агрегатов, имеющих сложную форму и разные размеры. Рудные минералы представлены микрочастицами золота и серебра, реликтами сульфосолей серебра, сильно разрушенными мелкими зернами пирита, сфалерита, галенита, арсенопирита. Более или менее однородные частицы, состоящие из Au, Ag, As, Pb и Zn, обладают крайне малыми размерами. Частицы, состоящие из Au и Ag, имеют в своем составе примесь As. Размер частиц чаще всего не превышает 1-2 мкм в соответствии с рисунком 3. Они имеют свойство соединяться в агрегаты, размер которых достигает 50 мкм, в соответствии с рисунком 4. Внутри этих агрегатов частицы распределены крайне неравномерно. Представлены они, как и в рудах, электрумом. Ag-содержащие частицы представлены, помимо электрума, вероятнее всего сильно разрушенными собственными минералами (прустит, пирсеит?), в состав которых входит As, в соответствии с рисунками 5, 6. Ag-содержащие частицы, также как и электрум, имеют свойство соединяться в агрегаты размером до 50 мкм.

Таблица 1 – Содержание (в г/т) Au, Ag, As, Pb и Zn в бриолитохимических и литохимических пробах, отобранных по водотокам I-го порядка. Au-Ag месторождение Дукат (рч. Чайка).

Номер пробы	Au			Ag			As			Pb			Zn		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Первый водоток															
Ч-1	0.420	–	–	30	–	–	10	–	–	1000	–	–	1000	–	–
Ч-2	0.125	0.025	<0.002	10	1	10	10	<10	<10	1000	150	2000	500	200	1000
Ч-3	0.105	–	0.065	5	–	15	10	–	30	3000	–	4000	500	–	300
Ч-4	0.200	–	–	2	–	–	<10	–	–	2000	–	–	300	–	–
Ч-5	0.802	0.202	0.085	20	2	20	10	<10	40	2000	1000	5000	1000	300	800
Второй водоток															
Ч-6	0.105	0.072	–	30	2	–	20	<10	–	1000	50	–	500	150	–
Ч-7	0.060	0.010	0.032	100	50	10	10	<10	30	1000	1000	500	300	300	300
Ч-8	0.205	0.085	–	7	<1	–	20	<10	–	1500	20	–	400	40	–
Ч-9	0.202	0.072	–	20	2	–	20	<10	–	1500	100	–	500	300	–
Ч-10	0.250	0.105	0.045	100	5	10	10	<10	30	500	50	1500	500	150	300

Примечание: Au анализировалось атомно-абсорбционным методом (аналитики А.А. Хлебникова, Л.Д. Андрулайтис), остальные элементы – спектральным приближенно-количественным методом (аналитик В.С. Кишечникова). Пробы: 1 – бриолитохимические, 2 – литохимические с моховой подушки, 3 – традиционные литохимические; прочерк – отсутствовал материал.

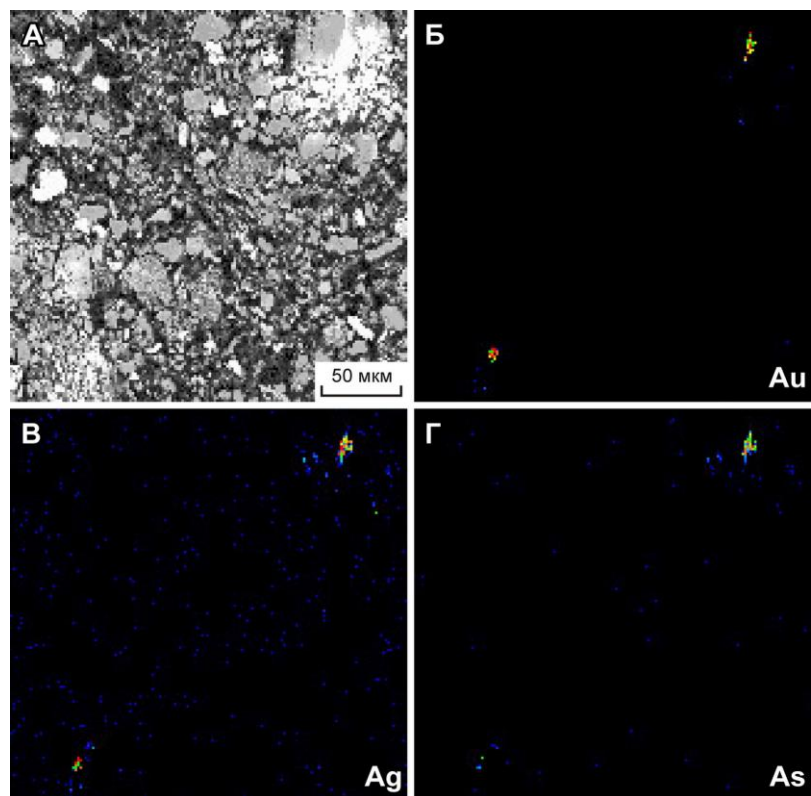


Рисунок 3 – Частицы электрума и минералов Ag (прусит, пирсеит?) в бриолитохимической пробе. Изображение дано: А – в обратно рассеянных электронах; Б-Г – в рентгеновских лучах.

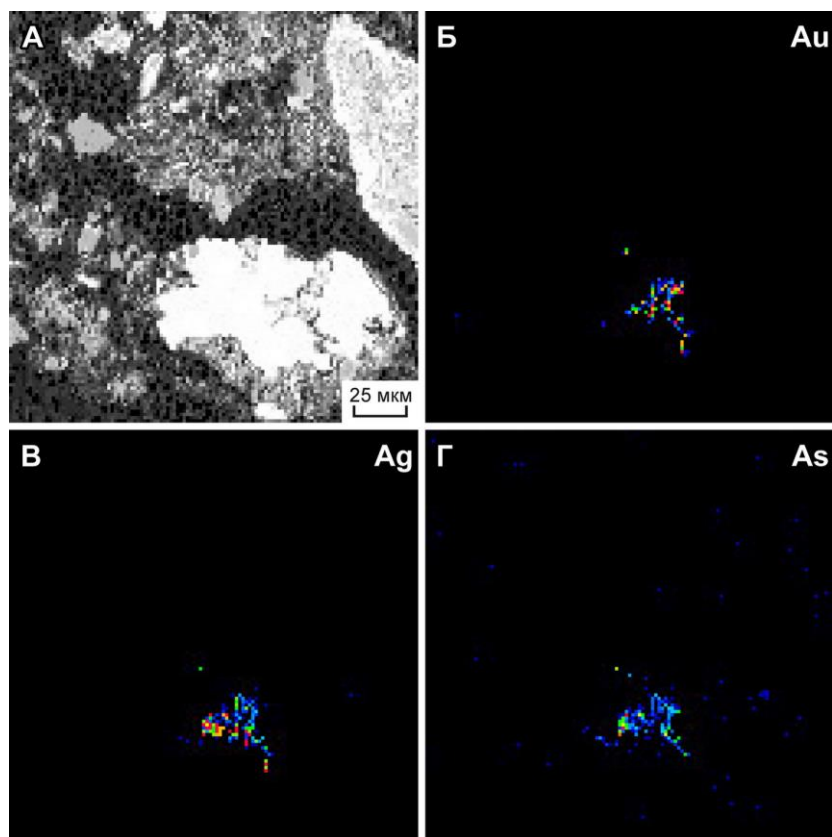


Рисунок 4 – Частицы электрума и минералов Ag (прусит, пирсеит?) в бриолитохимической пробе. Изображение дано: А – в обратно рассеянных электронах; Б-Г – в рентгеновских лучах.

As образует еще агрегаты состава Fe-As-S, в соответствии с рисунками 5, 6, размером до 20 мкм. По всей вероятности, такие образования являются производными от разрушенных зерен арсенопирита и, частично, питтицита, продукта разрушения арсенопирита, который во вторичных средах образует трудно растворимые формы.

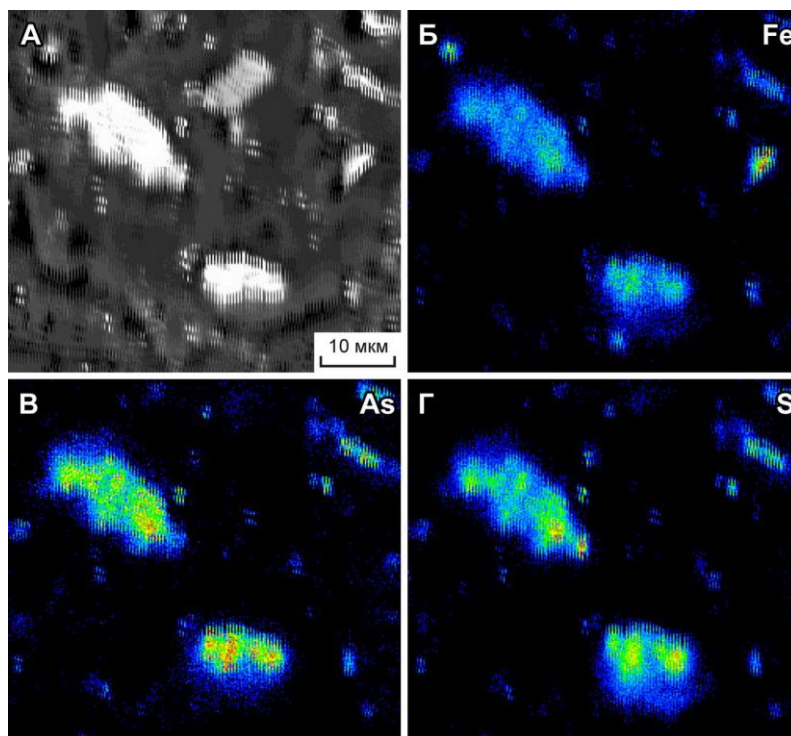


Рисунок 5 – Частицы состава Fe-As-S в бриолитохимической пробе. Изображение дано: А – в обратно рассеянных электронах; Б-Г – в рентгеновских лучах.

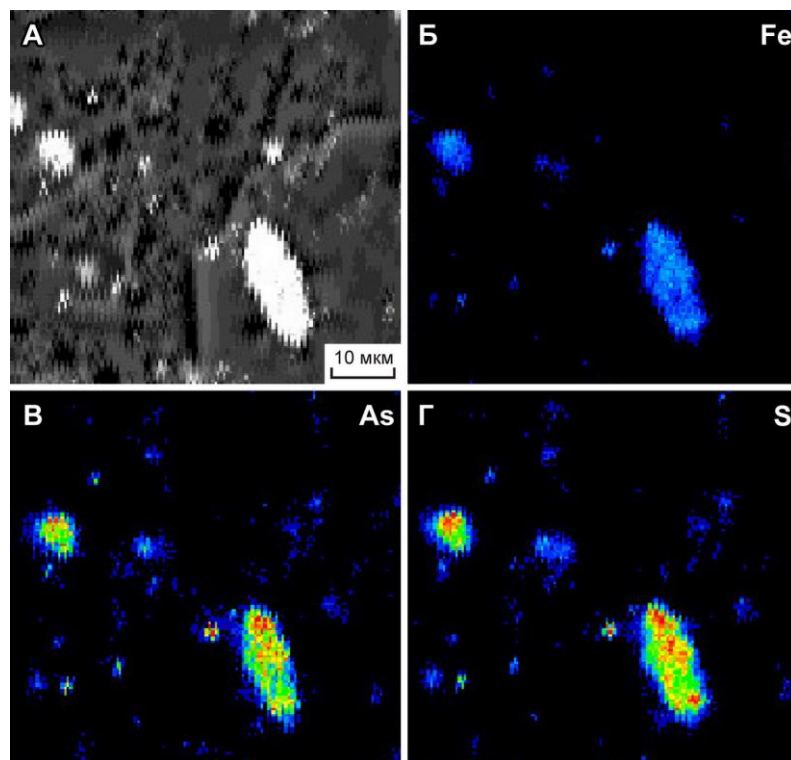


Рисунок 6 – Частицы состава Fe-As-S в бриолитохимической пробе. Изображение дано: А – в обратно рассеянных электронах; Б-Г – в рентгеновских лучах.

Pb и Zn встречается в бриолитохимических пробах в виде агрегатов, размер которых достигает 10 мкм в соответствии с рисунком 7. Такие агрегаты представлены полностью преобразованными в гипергенных условиях зернами галенита и сфалерита, которые перешли в церуссит и смитсонит, соответственно. Это объясняется отсутствием в их составе S.

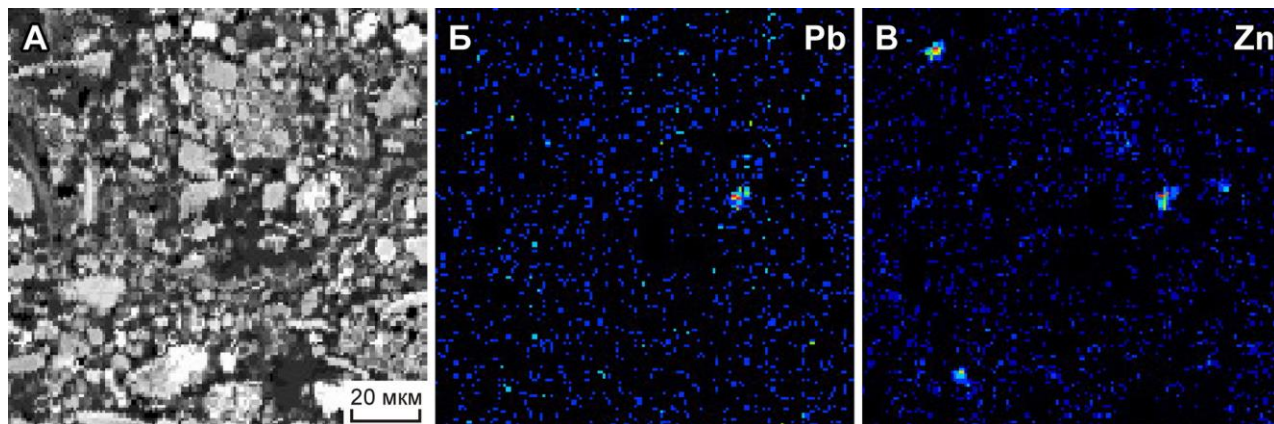


Рисунок 7 – Частицы, состоящие из Pb и Zn, в бриолитохимической пробе. Изображение дано: А – в обратно рассеянных электронах; Б, В – в рентгеновских лучах.

Сделан вывод о том, что БЛПР являются составной частью ЛПР и наравне с ними могут эффективно использоваться для выявления геохимических аномалий и оценки их рудно-формационной принадлежности. Показано, что БЛПР в значительной степени отражают особенности вещественного состава первичных руд: те же основные элементы-индикаторы (Au, Ag, Hg, Sb, As, Pb и Zn) и тот же близкий минеральный состав (тонкодисперсное золото и серебро, электрум, сульфосоли серебра, простые сульфиды).

Предложенные бриолитохимические исследования имеют широкие перспективы использования не только на территории Северо-Востока России. Они могут эффективно применяться и в других районах, имеющих сходные ландшафтные условия, в первую очередь, на тех площадях, где формирование литохимических и бриолитохимических потоков рассеяния происходит в условия северных субарктических и арктических обстановок.

Обобщены данные по изучению состава золотин на Au-Ag месторождении Кварцевая Сопка. Для руд этого эпитермального месторождения характерно свободное тонкодисперсное и мелкое золото в ассоциации с кварцем и сульфидными минералами. Золотины обладают высокой изменчивостью основного состава – от кюстелита до самородного золота с преобладанием электрума, в соответствии с рисунком 8. и значительным количеством примесей. Отмечена тенденция увеличения пробыности золота и количества элементов-примесей в нем с глубиной (мас. %): Bi от 0.50 до 1.46, Se от 0.67 до 0.75, Zn от 0.20 до 0.25,

Pb от 0.10 до 0.41, S от 0.10 до 0.29, Cu от 0.06 до 0.31, As от 0.06 до 0.22. Примесь Te (0.11–0.21), характерная для золотин приповерхностных зон, на глубине отсутствует.

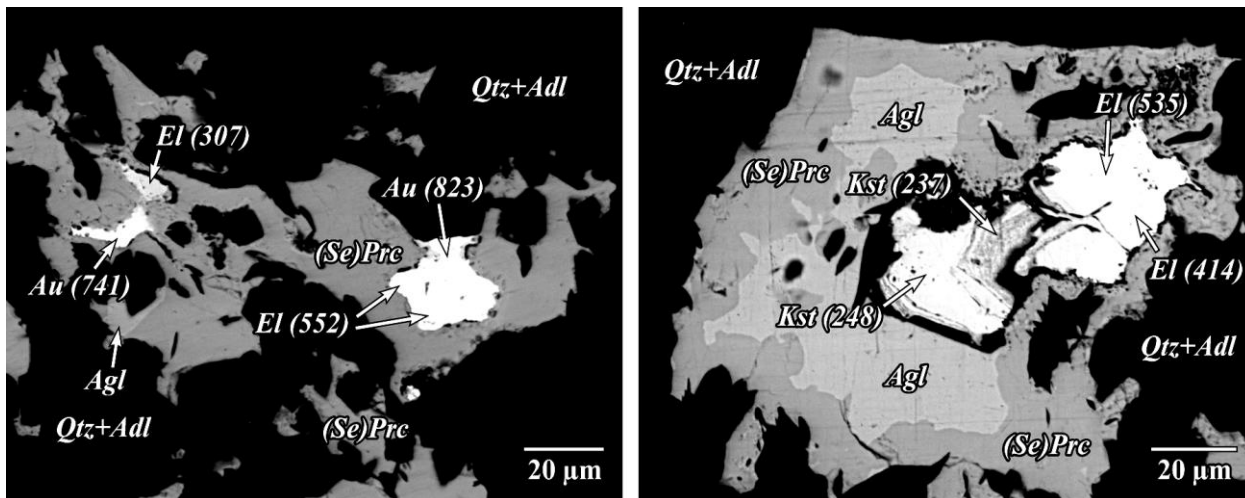


Рисунок 8 – Самородное золото (*Au*), электрум (*El*) и кюстелит (*Kst*) (в скобках дана пробность, ‰) в сростании с Se-пирсеитом (*(Se)Prc*) и агвиларитом (*Agl*) в кварц-адуляровой массе (*Qtz+Adl*). Изображения даны в обратно-рассеянных электронах.

### **Раздел 3. Вклад ювенильного вещества и их роль в формировании крупных и уникальных месторождений золота, связанных с черносланцевыми горизонтами.**

В пределах южного обрамления Сибирского кратона наиболее значимыми рудными регионами являются Ленский золоторудный район Бодайбинского синклинория (ЛЗР) и территориально с ним сопряженный Олоkitский полиметаллический (Ba-Pb-Zn) район (ОПР). Предметом изучения, заявленного на 2018 г., является вопрос возрастной принадлежности рудоносных горизонтов, корреляция источников полезного компонента и палеогеодинамических событий, способствовавших их формированию. В разрезе неопротерозойских углеродсодержащих толщ ЛЗР наиболее значимым является дальнетайгинский-жуинский горизонт, вмещающий целый ряд известных месторождений Au (Угаханское Сухой Лог, Голец Высочайший и др.). Возраст отложений горизонта оценивается в ~610–635 млн. лет [Powerman et.al., 2015] при мощности, не превышающей 3 км, в то время как суммарная мощность рифей-вендских толщ в регионе достигает 15 км. В сравнении с подстилающими и перекрывающими толщами, отложения этого интервала обладают сидерофильной специализацией и надкларковыми содержаниями Au, Ag, Pb, Zn, Ba, P, Mn. В пределах ОПР все месторождения и рудопроявления (Pb-Zn – Холоднинское, Овгольское и др.; Ba-Pb-Zn – Йоко-Рыбачье, Ондоко и др.) также приурочены к единому горизонту, представленному итыкитской и ондокской свитами.

Для определения возраста накопления ондокской свиты из образца углеродсодержащего глинистого сланца были выделены около 80 зерен циркона размером 50-100 мкм, крайне редко – 100-250 мкм. Из них проанализировано 46 зерен с размером, достаточным для анализа, в соответствии с рисунком 9. Локальный U-Pb анализ методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией выполнен в Институте наук о Земле г. Тайпей (Академия Синика, Тайвань) с использованием магнитосекторного масс-спектрометра Agilent 7900 и системы лазерного пробоотбора Photon Machines Analyte G2 с 193 нм лазером по точкам с размером 35 мкм. Даты зерен с дискордантностью менее 10% преимущественно сгруппированы в кластеры с палеопротерозой-архейскими (2786–1771 млн. лет) и неопротерозойскими значениями (980–597 млн. лет), указывая на вендский возраст осадконакопления ондокской свиты (~600 млн. лет) и значительный вклад «несибирского» источника, представленного породами Байкало-Муйского террейна. Особенности U-Pb системы ряда как дискордантных, так и некоторых конкордантных зерен, предполагают существенное влияние более позднего (не старше 569 млн. лет) метаморфического события. Изотопный состав свинца толщ, вмещающих Ba-полиметаллическое месторождение Йоко-Рыбачье (итыкитская свита) и Pb-Zn

Холоднинское месторождение (ондокская свита) указывают на единый источник рудного свинца на всем этапе седиментации дальнетайгинского горизонта при различии модельного возраста в 10-20 млн. лет [Неймарк и др., 1991], что схоже с предполагаемой разницей между отложениями бужуихтинской и хомолхинской свит в разрезе БПН [Powerman et.al., 2015; Чумаков и др., 2011]. Таким образом, с учетом полученных возрастных данных, можно констатировать факт синхронного накопления бужуихтинской и хомолхинской свит ЛЗР с итыкитской и ондокской свитами ОПР и их общего отнесения к дальнетайгинскому горизонту.

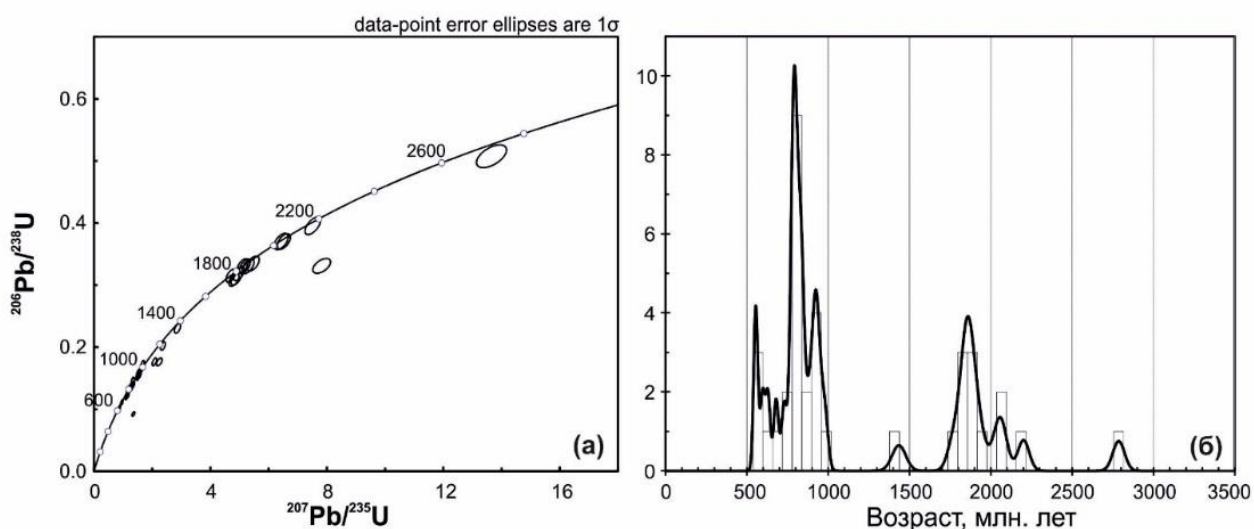


Рисунок 9 – а) Диаграмма с конкордией для цирконов из глинистого сланца ондокской свиты; б) Кривая вероятности и гистограмма распределения для цирконов с дискордантностью менее 10%.

При литолого-геохимическом анализе реконструируется последовательный фациальный ряд обстановок осадконакопления Ленского золоторудного и Олоkitского полиметаллического районов от задугового бассейна на севере [Станевич и др., 2007; Чугаев и др., 2017; Chugaev et.al., 2018], к островодужной системе на юге [Цыганков и др., 2005], что вероятно и определяет металлогенический потенциал отложений. Эксплозивная деятельность вулканических аппаратов Байкало-Муйской зоны, а также подводные эксгальции зоны спрединга задугового бассейна с большой вероятностью могли оказывать влияние на геохимические особенности амагматичных отложений Бодайбинской, Приленской и Прибайкальской зон. Источником обогащения рудной зоны месторождения Ва, Zn, Pb, Ag и другими элементами, свойственными для низко- и среднетемпературных ассоциаций, являлся гидротермальный раствор задуговых бассейнов. Этот процесс имел распространение в северном направлении, формируя сидерохалькофильную специализацию амагматичных черносланцевых толщ дальнетайгинского горизонта ЛЗР.



## Основные результаты проведенного исследования

В результате исследований о металлогенезисе золота в истории Земли предполагается его первично глубинная (мантийная – фемическая) природа, но в истории Земли постепенно проявляются его коровые свойства, зафиксированные в увеличении разнообразия типов и металлогенических ассоциаций месторождений золота в складчатых поясах фанерозоя. Минеральный состав руд орогенных месторождений Au отражает вклад коровых и мантийных источников в процессы их формирования.

Полученные результаты о минеральном составе месторождений Au и Ag (Кварцевая Сопка и Роговик Охотско-Чукотского вулканического пояса) могут быть использованы при определении общего направления поисковых и разведочных работ на объектах подобного типа. Если придерживаться точки зрения, что находки амальгам серебра являются поисковым критерием, указывающим на возможность выявления богатых серебром руд на территории, где они были обнаружены, то можно говорить о положительной оценке Роговиковской площади на предмет обнаружения новых рудных месторождений, и не только золотосеребряных.

По мнению авторов, применение низко высотной съемки с мультикоптеров может в значительной степени модернизировать традиционные подходы к выполнению легких геофизических методов. В то время, как применение геоинформационного подхода к оценке перспектив площади исследований и выделению наиболее перспективных участков позволяет оптимизировать процесс анализа всей совокупности геолого-геохимических и иных данных, генерализовав их до небольшого количества высокоинформативных картографических представлений, удобных для визуального анализа. Методика реализуема средствами любых современных геоинформационных пакетов.

#### Список использованных источников

1. Будяк А.Е., Горячев Н.А., Скузоватов С.Ю. Геодинамические предпосылки формирования масштабного оруденения южного обрамления Сибирского кратона в протерозое // Доклады Академии наук. 2016. Т. 470. № 5. С. 562-565.
2. Васильева И.Е., Кузнецов А.М., Васильев И.Л., Шабанова Е.В. Градуировка методик атомно-эмиссионного анализа с компьютерной обработкой спектров // Журн. аналит. химии. - 1997. - Т. 52, № 12. - С. 1238-1248.
3. Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Прямое атомно-эмиссионное определение серебра и золота в геологических образцах // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2005, Т. 71, № 10. - С. 10-16.
4. Воробьева С.Е., Меньшиков В.И., Цыханский В.Д. и др. Прямое атомно-абсорбционное определение Au, Ag, Sb, Te, Bi с применением электротермического атомизатора // VIII обл. науч.-техн. конф. по спектроскопии: Тезисы. докл. - Тамбов, 1987. - С. 55 -56.
5. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. - М.: Недра, 1983. - 191 с.
6. Кряжев С.Г. Изотопно-геохимические и генетические модели золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Отечественная геология. 2017. № 1. С. 28-38.
7. Ханчук А.И. Тимофеев В.Ю., Казанский А.Ю., Ардюков Д.Г., Метелкин Д.В., Горнов П.Ю., Шестаков Н.В., Бойко Е.В., Тимофеев А.В., Гильманова Г.З. О параметрах вращения Сибирского домена и его восточного обрамления в различные геологические эпохи // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 4. С. 21-31.
8. Goryachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of far east Russia // Ore Geology Reviews. 2014. v. 59. p. 123-151.
9. Parshin A., Morozov V., Blinov A., Kosterev A., Budyak A. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multirotor UAV as a promising replacement for traditional ground survey (2017) // Geo-spatial Information science DOI 10.1080/10095020.2017.1420508 a.
10. Павлова Л.А., Кравцова Р.Г. Определение форм нахождения серебра в литохимических потоках рассеяния методом РСМА (на примере Дукатского золото-серебряного месторождения) // Методы и объекты химического анализа. – 2006. - Т. 1, № 2. - С. 132-141.
11. Павлова Л.А., Парадина Л.Ф. Рентгеноспектральный микроанализ и его

применение в минералогии. – Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. - 186 с.

12. Паршин А.В. Комплекс для беспилотной аэромагниторазведки. Патент РФ №172078

13. Паршин А.В., Цирель В.С., Анцев В.Г. Настоящее и будущее беспилотной аэрогеофизики в России // Разведка и охрана недр. 2017. № 8. С. 33-38 а.

14. Паршин А.В., Гребенкин Н.А., Морозов В.А., Ржевская А.К., Шикаленко Ф.Н. Первые результаты методических работ по применению беспилотных аэрогеофизических технологий на стадии поисков месторождений урана//Разведка и охрана недр, 2017, №11, с.59-64.

15. Parshin A., Morozov V., Blinov A., Kosterev A., Mikhailiov A., Matitsyn V. GIS-based unmanned aerial remote sensing system and its application for geological mapping and estimation of mineral prospectivity of areas with complex landscape conditions of East Siberia // Mineral Prospectivity, current approaches and future innovations – Orléans, France, 24-26 October 2017, p.98-99 б.

16. Паршин А.В., Блинов А.В., Михалев А.О., Матыцин В.А., Просекин С.Н. Низковысотные дистанционные зондирования земли с БПЛА комплексом мультиспектральных и геофизических методов – новая методология поисков полезных ископаемых // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы IV Междунар. науч. конф., Красноярск, 2017, с. 57-61 б

17. Морозов В.А., Паршин А.В. О высших секретах летного мастерства при решении геологических задач с помощью БПЛА в сложных ландшафтных условиях // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы IV Междунар. науч. конф., Красноярск, 2017, с. 52-56

18. Инструкция по магниторазведке. Наземная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка. Ленинград: Недра, 1981, 264 с.

19. Pal'yanova G.A., Zhuravkova T.V., Chudnenko K.V. Thermodynamic properties of solid solutions in the system AG 2S-AG2SE // Thermochemica Acta. 2014. Т. 575. С. 90-96.

20. Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А., Лескова Н.В. Сульфидные соединения золота и серебра в золоторудных месторождениях восточной Якутии // Отечественная геология. 2008. № 5. С. 24-32.

21. Савва Н.Е., Пальянова Г.А. Генезис сульфидов золота и серебра на месторождении Улахан (северо-восток России) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 10. С. 1028-1042.

22. Татаринов В.В., Финкельштейн А.Л., Кравцова Р.Г., Павлова Л.А. Определение состава микровключений самородного золота в матрице сульфидного минерала при рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализе // Аналитика и контроль, 2017, Т. 21, № 3, С. 208-215. DOI: 10.15826/analitika.2017.21.3.006 (Таусон и др., 2002, 2009)
23. Таусон В.Л., Кравцова Р.Г., Смагунов Н.В., Спиридонов А.М., Гребенщикова В.И., Будяк А.Е. Структурное и поверхностно-связанное золото в пиритах месторождений разных генетических типов. [Текст] // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 2. С. 350-369.
24. Таусон В.Л., Кравцова Р.Г. Типохимизм поверхности минералов: особенности состава поверхности (на примере золотоносного пирита эпитермального месторождения) // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 2. С. 222.
25. Tauson V.L., Kravtsova R.G., Makshakov A.S., Lipko S.V., Arsent'ev K.Yu. Contrasting Surficial Composition of Native Gold from Two Different Types of Gold Ore Deposits // Minerals, 2017, v. 7, No 8, Article No 142, P. 1-16;
26. Минералогия и состав, закономерности распределения и особенности формирования рудной минерализации золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России). Кравцова Р.Г., Макшаков А.С., Павлова Л.А. // Геология и геофизика, 2015, Т.56, № 10, С.1739-1759.
27. Минералого-геохимические особенности вмещающих пород и руд золото-серебряного месторождения «Роговик» (Северо-Восток России) // Кравцова Р.Г., Макшаков А.С., Тарасова Ю.И., Куликова З.И., 2012, № 2(14), С.11-22.
28. Кравцова Р.Г, Макшаков А.С. Оценка Уровня Эрозионного Среза Золото-Серебряных Зон Эпитермального месторождения Роговик по геохимическим данным (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений, 2016, т. 58, № 6, С. 544-558.
29. Шпикерман В.И., Горячев Н.А. Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Екатеринбург: Наука, 1996. 132 с.
30. Ханчук А.И. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Дальнаука, Владивосток, 2006 г., 527 с.
31. Эмиссионный спектральный анализ в геохимии / под ред. Я.Д. Райхбаума. - Новосибирск: Наука, 1976. - 280 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Перечень публикаций по тематике проекта в 2018 г.

1. Parshin A., Grebenkin N., Morozov V., Shikalenko F. Research Note: First results of a low-altitude unmanned aircraft system gamma survey by comparison with the terrestrial and aerial gamma survey data // *Geophysical prospecting*, 2018, V. 66, № 7, P. 1433-1438 DOI: 10.1111/1365-2478.12650 (ИФ = 1,744 Q3)
2. Parshin A.V., Morozov V.A., Blinov A.V., Kosterev A.N., Budyak A.E. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multirotor UAV as a promising replacement for traditional ground survey // *Geo-spatial Information Science*, 2018, V.21, № 1, P. 67-74. DOI: 10.1080/10095020.2017.1420508 (WOS)
3. Вах А.С., Гвоздев В.И., Горячев Н.А., Карабцов А.А., Федосеев Д.Г., Вах Е.А. Висмутовый джемсонит (сахароваит) в рудах Средне-Голготайского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // *Записки Российского минералогического общества*, 2018, Т. 147, № 4, С. 68-84. (Scopus).
4. Дамдинов Б.Б., Жмодик С.М., Травин А.В., Юдин Д.С., Горячев Н.А. Новые данные о возрасте золотого оруденения юго-восточной части Восточного Саяна // *Доклады Академии наук*, 2018, Т. 479, № 5, с. 532-535 DOI: 10.7868/S0869565218110129 (англ. DOI: 10.1134/S1028334X18040116) (ИФ = 0,597 Q4)
5. Ефремов С.В., Спиридонов А.М., Горячев Н.А. Слэбовый расплав как потенциальный источник профилирующих элементов месторождений золота и тяжёлых металлов // *Доклады Академии наук*, 2018, Т. 479, № 5, С. 551-555. DOI: 10.7868/S0869565218110166 (англ. DOI: 10.1134/S1028334X1804013X) (ИФ = 0,597 Q4)
6. Таусон В.Л., Кравцова Р.Г., Акимов В.В., Липко С.В., Спиридонов А.М., Будяк А.Е., Воронова И.Ю., Белозерова О.Ю., Арсентьев К.Ю. Формы нахождения углерода, серы и благородных металлов на месторождениях черносланцевой формации (пример золоторудного месторождения Дегдекан, Северо-Восток РФ) // *Доклады Академии наук*, 2018, Т. 478, № 2, С. 221-228. DOI: 10.7868/S0869565218020214 (англ. DOI: 10.1134/S1028334X18010191) (ИФ = 0,597 Q4)
7. Чугаев А.В., Будяк А.Е., Чернышев И.В., Дубинина Е.О., Гареев Б.И., Шатагин К.Н., Тарасова Ю.И., Горячев Н.А., Скузоватов С.Ю. Изотопные (Sm-Nd, Pb-Pb и  $\delta^{34}\text{S}$ ) и геохимические характеристики метаосадочных пород Байкало-Патомского пояса (Северное Забайкалье) и эволюция осадочного бассейна в неопротерозойское время // *Петрология*, 2018, Т. 26, № 3, С. 213-244. DOI: 10.7868/S0869590318030019 (англ. DOI: 10.1134/S0869591118030025) (ИФ = 1,136 Q3 Q4)
8. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Дзюба А.А. Благородные металлы в образцах черных сланцев золоторудного месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь) по данным метода сцинтилляционной дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии // *Геология и геофизика*, 2018, Т. 59, № 8, С. 1238-1253 DOI: 10.15372/GiG20180808 – DOI: 10.1016/j.rgg.2018.07.019) (ИФ = 1,323 Q3)
9. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Дзюба А.А. Определение благородных металлов в геологических пробах четырех золоторудных месторождений Северо-Востока России // *Журнал аналитической химии*, 2018, Т. 73, № 6, С. 433-445 DOI: 10.7868/S004445021806004X (англ. DOI: 10.1134/S1061934818040123) (ИФ = 0,971 Q4). Scopus – 1

10. Dzyuba A.A., Labusov V.A., Vasil'eva I.E., Shabanova E.V. Optical efficiency and spectral resolution of the Grand, Grand-1500, and STE-1 Spectrometers // Inorganic materials, 2018. V. 54, № 14. P. 94-98. (англ. DOI: 10.1134/S0020168518140091)

#### **Объекты интеллектуальной собственности**

1. Патент на изобретение № 2673505. Способ аэрогаммаспектрометрической съемки геологического назначения. Паршин А.В.

#### **Монографии**

1. Китаев Н.А., Спиридонов А.М., Зорина Л.Д. Золоторудные формации Восточного Забайкалья и Приамурья: условия рудообразования, состав и строение геохимических полей. – Новосибирск: Академическое изд-во ГЕО, 2018. – 229 с.