

Федеральное агентство научных организаций

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. \_\_\_\_\_ Перепелов А.Б.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Научный проект: 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

Протокол Ученого совета  
№ 1 от «16» января 2018 г.

Научный руководитель темы

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

Иркутск 2017

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы, \_\_\_\_\_ А.Е. Будяк  
кандидат геолого-минералогических наук \_\_\_\_\_  
подпись, дата

Ответственные исполнители темы:

д-р геолого-минералогических наук \_\_\_\_\_ Н.А. Горячев (раздел 1)  
подпись, дата

кандидат геолого-минералогических наук \_\_\_\_\_ А.В. Паршин (раздел 2)  
подпись, дата

д-р геолого-минералогических наук \_\_\_\_\_ Р.Г. Кравцова (раздел 3)  
подпись, дата

кандидат геолого-минералогических наук \_\_\_\_\_ А.В. Паршин (раздел 4)  
подпись, дата

УДК 550.4:551.2

## РЕФЕРАТ

Отчет включает 35 стр., 10 илл., 7 табл., 31 ист.

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

Целью исследования является изучение геохимических особенностей 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:

- сделано предположение о первично глубинной мантийной природе металлогенезиса золота и постепенного проявления его коровых свойств;
- минеральный состав руд орогенных месторождений Au отражает вклад коровых и мантийных источников в процессы их формирования;
- получены новые результаты о минеральном составе месторождений Au и Ag Охотско-Чукотского вулканического пояса;
- разработана и апробирована методика низковысотной съемки с мультикоптеров;
- разработан метод геоинформационного подхода к оценке перспектив площади исследований и выделению наиболее перспективных.

## Содержание

Введение	5
Обозначения и сокращения	5
Раздел 1. Эволюция минерального состава орогенных золоторудных месторождений в истории Земли.	7
Раздел 2. Крупномасштабные магнитометрические геофизические исследования различных типов золоторудных месторождений Байкало-Патомского нагорья с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА)	10
Раздел 3. Минеральный и геохимический состав руд на месторождениях золота и серебра, относящихся к разным рудным формациям Охотско-Чукотского вулканического пояса: Au-Ag месторождения Дальнее и Кварцевая Сопка, Ag месторождение Дукат Ag-Pb месторождения Гольцовое и Мечта.	16
Раздел 4. Разработка универсального геоинформационного подхода к оценке перспектив площади исследований и выделению наиболее перспективных участков, применимого для различных видов полезных ископаемых.	27
Основные результаты проведённого исследования	30
Список использованных источников	31
Приложение. Список публикаций по теме	34

## Обозначения и сокращения

РМС – рудно-магматическая система

БПЛА – беспилотный летательный аппарат

ПО – программное обеспечение

ОЧВП – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс

СПКА – спектральный полуколичественный анализ

СВАДМ – статистическая выборка аналитических данных для микрокристаллов

РСМА – рентгеноспектрального микроанализа

СЭМ-ЭДС – сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной  
спектрометрией

ГРР – геолого-разведочные работы

## 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 (РМС), 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 2017 решены следующие задачи:

- проведено изучение эволюция минерального состава орогенных золоторудных месторождений в истории Земли;
- с использованием новейших аналитических методов исследования получены новые результаты о минеральном составе и геохимических особенностях руд Au-Ag месторождений Кварцевая Сопка и Роговик, расположенных в Охотско-Чукотского вулканического пояса;
- разработана и апробирована методика низковысотной съемки с мультикоптеров;
- разработан метод геоинформационного подхода к оценке перспектив площади исследований и выделению наиболее перспективных.

Имеющийся научный задел и оригинальность ряда используемых методов позволяет надеяться на получение новых данных об источниках металлоносных флюидов и о процессах концентрирования Au и Ag.

## Раздел 1. Эволюция минерального состава орогенных золоторудных месторождений в истории Земли.

В распределении промышленных месторождений золота во времени наблюдается определенная дискретность: 3.3-3.1; 2.8-2.5; 2.1-1.8; 0.8-0.55; 0.45-0,40; 0,33-0.25, 0.18-0,12 и 0.10-0.0 млрд лет. Эти эпохи золотой минерализации коррелируют с суперконтинентальными циклами и главными орогенными событиями в их составе. Основная масса Au образовалась в архейское и раннепротерозойское время (Рис. 1). В это время золото четко демонстрирует свои мантийные связи в орогенной металлогении, которые, прежде всего, выражаются в ассоциации месторождений Au с месторождениями Ni, Cu, Pt, Fe. В мезо- и неопротерозое к ним добавляется ассоциация с урановыми месторождениями и черными сланцами, а в фанерозое – месторождения Mo, Cu, W, Ag, Sb, Hg и даже Sn (Тихоокеанское рудное кольцо, Центрально-Азиатский орогенный пояс). Это корреспондирует с общим ростом коры в истории Земли и демонстрирует увеличение во времени доли коровых связей в металлогении Au.

Начиная с неопротерозоя, в металлогении Au проявляется двойственность, обусловленная разделением золоторудных ареалов тектонических зон существенно фемического (островодужного, аккреционного) и сиалического (коллизийного) профиля. Ассоциация орогенных месторождений Au с колчеданными или Cu-Ni месторождениями сохраняется только для фемических металлогенических провинций (Урал, Саяны и др.), что подчеркивает важную роль мантии в металлогении Au. Его минерализация в сиалических складчатых поясах (на деформированных пассивных окраинах континентов) часто ассоциирует с черными сланцами, играющими важную роль при ее формировании в поздний орогенный этап [Будяк и др, 2016; Кряжев, 2017]. С этого времени месторождения Au в сиалических и феми-сиалических поясах разделяются на собственно орогенные (золото-кварцевые, золото-сульфидные прожилково-вкрапленные) и связанные с гранитоидами (золото-редкометалльные, золото-висмутовые) месторождения.

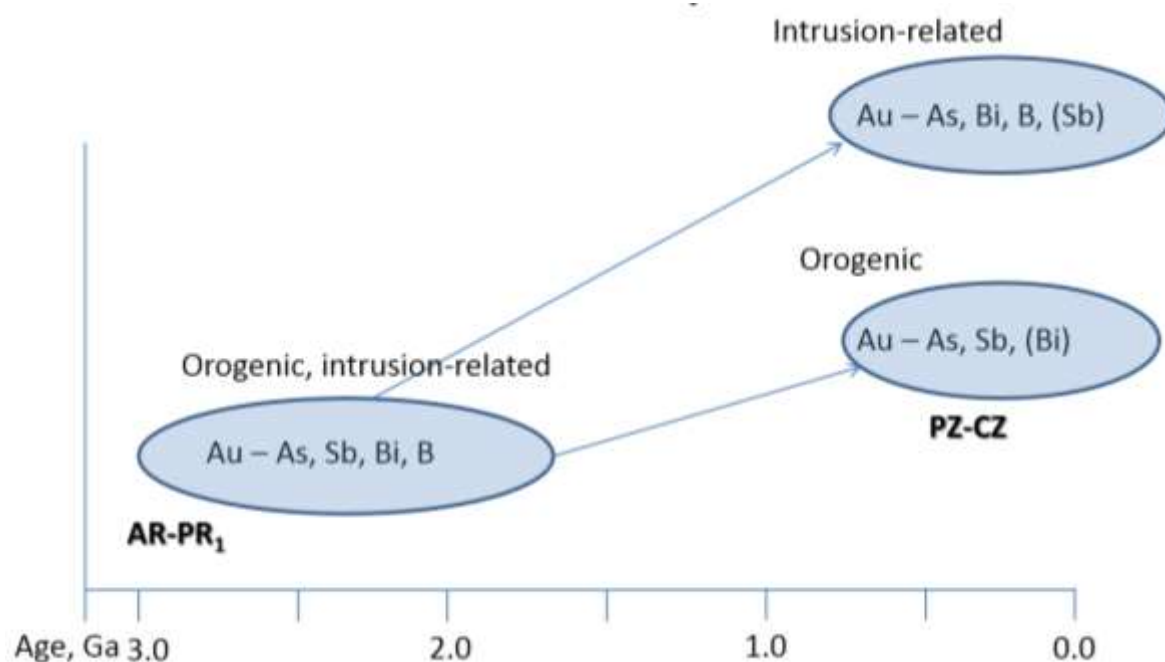


Рис. 1. Эволюция минерального состава орогенных руд Au во времени

Такая эволюция является результатом дифференциации минерального состава орогенных золоторудных месторождений во времени. Так, турмалин в архейских и раннепротерозойских орогенных месторождениях является обычным минералом руд, равно как и минералы всей Au-сопровождающей триады полуметаллов (As, Sb, Bi) и аналогов серы (Te, Se). В фанерозойских золотых месторождениях турмалин, становится нетипичным для орогенных руд и обычным только для месторождений, связанных с гранитоидами. Минерализация, сопутствующая золоту в фанерозойских месторождениях (особенно для позднего мезозоя и кайнозоя), отчетливо разделяется на As-Sb-Ag-Se минерализацию (арсенопирит, сульфосоли, блеклые руды, антимонит) в орогенных и эпитегрмальных рудах и As-Bi-Te минерализацию (леллингит, арсенопирит, сульфосоли Bi, теллуриды и сульфотеллуриды Bi) в интрузион-релейтед рудах, связанных с гранитоидным магматизмом субдукционных и коллизионных обстановок. Наиболее контрастно это наблюдается по северному обрамлению Тихоокеанского бассейна. Вклад корового компонента в фанерозое отчетливо фиксируется в изотопно-геохимических параметрах сопутствующих золоту минералов [Ханчук и др, 2011].

В этом ряду есть исключение, орогенные месторождения золота Забайкальского сектора Монголо-Охотского орогенного пояса, которым присуща специфическая минералогия, во многом, перекликающаяся с минералогией орогенных руд золота месторождений докембрия. В их составе широко присутствует турмалин и минералы



всей триады полуметаллов (As-Sb-Bi). Спецификой этих месторождений является то, что они ассоциируют с латитовым магматизмом и возникли в период активных левосдвиговых деформаций, при вращении Сибирского континента по часовой стрелке. Т.е. они формировались в палеогеодинамическом режиме трансформной континентальной окраины [Goryachev, Pirajno, 2014], когда вещество мантии проникало в верхние горизонты коры, что и нашло отражение в минеральном составе их руд и в изотопных параметрах их минералов.

Таким образом, металлогенезис золота в истории Земли предполагает его первично глубинную (мантийную – фемическую) природу, но в истории Земли постепенно проявились 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.

## Раздел 2. Крупномасштабные магнитометрические геофизические исследования различных типов золоторудных месторождений Байкало-Патомского нагорья с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА)

Одним из наиболее эффективных способов решения структурно-картировочных задач является геофизическая разведка методом магнитной съемки – магниторазведка. Традиционными вариантами магниторазведки являются пешеходная и аэромагнитная варианты съемки. Рассматриваемые площади, относящиеся к одному из основных перспективных на золото районов Российской Федерации, характеризуются сложными природно-ландшафтными условиями – курумы, заболоченность, заросли стланника, значительные уклоны рельефа, что затрудняет, замедляет и удорожает пешеходную съемку.

Выполнение классической пилотируемой магниторазведки здесь затруднено из-за отсутствия поблизости аэропортов, в связи с типичным для ряда площадей сильно пересеченным рельефом, а также в принципе нерационально при выполнении работ на отдельных лицензионных участках, площадь которых обычно не превышает 100 квадратных километров. Таким образом, техническое совершенствование классических способов выполнения магнитной съемки не позволяет решить принципиальную проблему повышения эффективности геологического изучения перспективных на золото районов Восточной Сибири (в частности) в современных условиях.

Избежать проблем с постановкой наземных методов на сложно проходимых и удаленных от инфраструктуры территориях, повысить скорость их обследования и картирования позволяют беспилотные технологии. В рамках настоящей темы проводились апробации разработанного ранее роботизированного беспилотного комплекса SibGIS UAS [Parshin et. al., 2017a; Паршин; Паршин, Цирель, 2017; Паршин и др., 2017a; Parshin et. al., 2017б; Паршин и др., 2017б; Морозов, Паршин, 2017] в типичных для Восточной Сибири геологических и природно-ландшафтных условиях. Комплекс представляет собой набор специализированных мультироторных БПЛА с различными сенсорами и ПО для формирования полетных заданий и обработки данных. В составе комплекса имеется магниторазведочная и гамма-спектрометрическая технология на базе тяжелых 6-и или 8-и винтовых коптеров 1000-го класса (рис. 2).

В применяемом варианте магниторазведочной технологии используется абсолютный оверхаузеровский магнитометр, измеряющий модуль полного вектора напряженности геомагнитного поля, состоящий из выносного датчика на складном подвесе, гасящем вибрации и не допускающем вращения датчика, и расположенного под рамой блока управления. Он обеспечивает абсолютную погрешность измерений в пределах 1 нТл при измерениях 1 раз в секунду (максимальная частота измерений 8 Гц). В комплекс также входит аппаратура GNSS-привязки и радиомодем для обмена данными между наземными станциями и летательными аппаратами. Измерения производятся в автоматическом режиме с записью в память, также производится фиксация координат через систему GNSS-позиционирования, поддерживающую GLONASS/GPS/Beidou. В качестве дополнительной нагрузки может быть установлен лидарный сканер. Скорость полета обычно составляет 7–12 м/с. На существующем этапе развития технологии с одной точки оптимально выполнять съемку на площади до 16 км<sup>2</sup>. Полет выполняется на автопилоте, по мере разряда батарей БПЛА возвращается на базу для их замены и обновления полетной миссии.

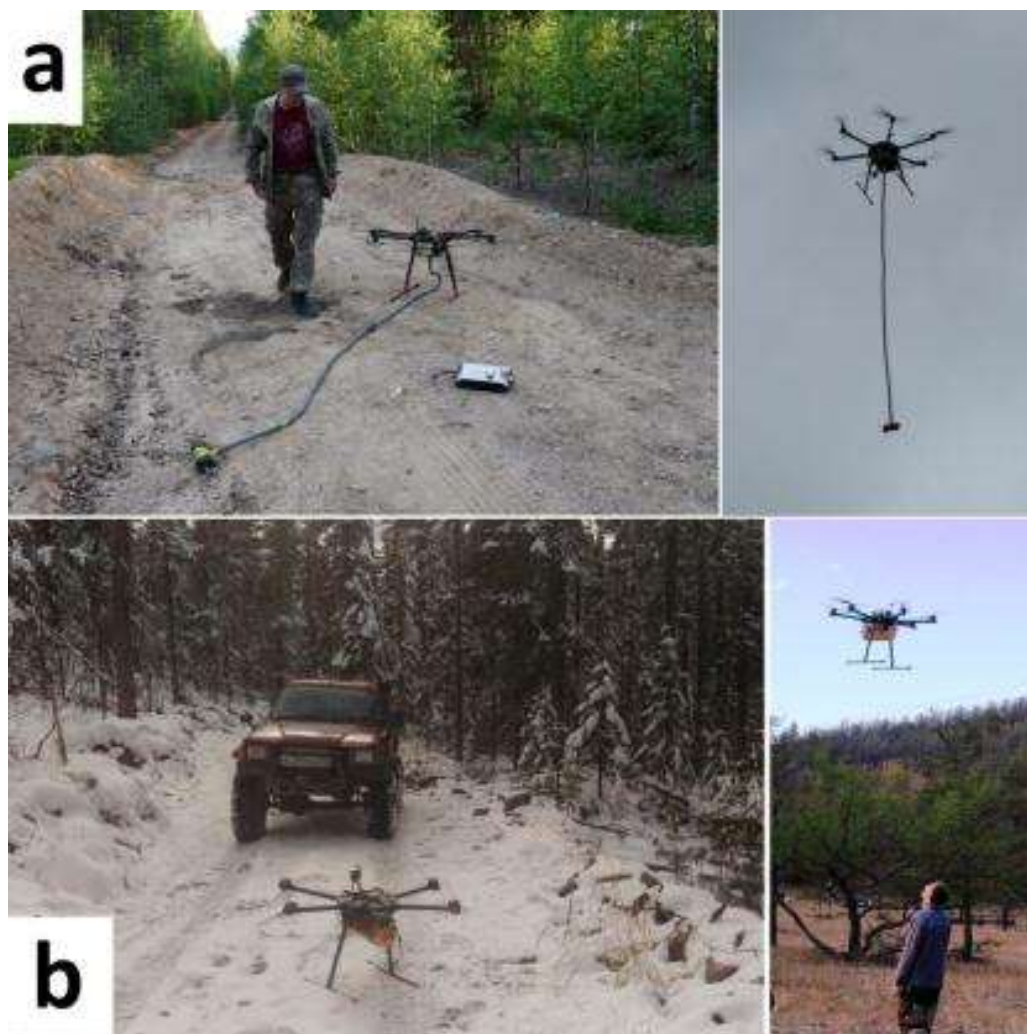


Рис. 2. Магниторазведочный (а) и гамма-спектрометрический (б) варианты комплекса SibGIS UAS

Съемка, фрагменты которой представлены далее, проходила летом - осенью в широком диапазоне температур от -10 до +25 градусов Цельсия, при ветре порывами до 10-12 м/с, во время дождя и снега, что позволило в полной мере испытать производственные возможности комплекса применительно к решению задач исследования золоторудных провинций Восточной Сибири. Рельеф характеризуется типичными для Северного Забайкалья природными условиями: углами уклона рельефа до 40%, зарослями хвойного кустарника, каменистыми осыпями, заболоченностями.

Съемка производилась в масштабах 1:10000 и 1:5000 (профили через 100 и 50 метров соответственно). Расстояние между пикетами по профилю составляет в обоих случаях 5 метров. На рисунке 3 приведен фрагмент съемки участка N1. Здесь и далее результаты измерений приведены с учетом вариаций, но без какой-либо дополнительной обработки.

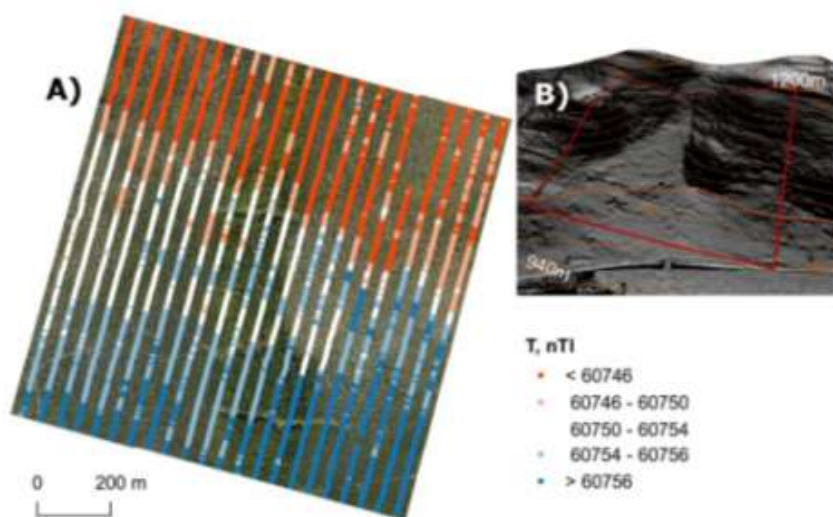


Рис. 3. Фрагмент схемы модуля полного вектора намагниченности для участка N1 (высота измерений 15 метров), (B) - ЦМР по данным лидарного сканирования

Поле данного участка слабоконтрастное, изменчивость по профилям не превышает первых нТл, что существенно меньше суточных геомагнитных вариаций. В связи с этим участок представляет собой весьма сложный объект для магниторазведки: погрешность даже в 2 нТл существенно исказит картину поля, а погрешности до  $\pm 5$  нТл, допустимые для крупномасштабной съемки в соответствии с Российской [Инструкция по магниторазведке..., 1981]. На рассматриваемом фрагменте на фоне явной зональности заметны незначительные, но вполне объективные аномалии повышенных значений поля амплитудой до 3 нТл близкого к субширотному простирания, что говорит о высокой чувствительности технологии.

На данном участке выделяется близкая к субширотному простиранию аномалия пониженных значений поля амплитудой до 30 нТл. Характер поля позволяет предварительно интерпретировать ее как наклонный пласт с падением на юг. Сопоставление данных пешеходной и беспилотной съемки позволяет констатировать их в целом хорошую сходимость, однако обращает на себя внимание периодически возникающая повышенная дисперсия данных наземной съемки. Она обусловлена тем, что при выполнении пешеходных измерений операторы вынуждены были буквально продираться сквозь заросли густого и мокрого кустарника, что естественно влияет на правильность измерений.

Картина поля также подтверждает высокую сходимость наземной и пешеходной съемки даже без пересчета поля по высоте и позволяет утверждать, что наземная и

низковысотная беспилотная съемка в реальных условиях фиксируют одни и те же объекты. В целом можно отметить, что за счет постоянной скорости движения и меньших воздействий на датчик, в сложных природных условиях беспилотная технология обеспечивает высокое качество данных, часто превосходящее результаты наземных измерений. Данное утверждение справедливо при условии, что наземная съемка выполняется без предварительных топогеодезических работ и рубки профилей, как это обычно и происходит в современной геологоразведочной практике. Безусловно, в теории наземную съемку возможно выполнить с более высоким качеством, произведя предварительные детальные топографические работы, вырубив профили для легкого прохождения операторами, поручив измерения высококвалифицированным операторам и не требуя высокой производительности работ. Однако такой подход полностью противоречит смыслу применения легких геофизических методов как средства недорогого и оперативного исследования площадей в целом.

На рис. 4Б приведены результаты БПЛА-магнитометрической съемки на эталонном объекте в сопоставлении с наземной (4В) и традиционной аэромагнитной (4А) съемками. Представленные магнитометрические исследования выполнены в масштабе 1:10 000 по профилям наземной съемки. Традиционная аэромагниторазведка была проведена предшественниками с использованием вертолета МИ-8МТВ на высоте порядка 100м. Съемка комплексом SibGIS UAS выполнялась на высоте около 60 метров в связи с большой высотой деревьев на площади.

Полученные данные, по мнению авторов, качественно превосходят результаты наземных работ, в которых проявляется комплекс негативных эффектов, обусловленных сложными природно-ландшафтными условиями. В связи с применением высокоточного абсолютного протонного магнитометрического канала в комплексе SibGIS UAS отсутствует профильность и многие другие негативные эффекты, устранение которых требует математической обработки данных. Результаты комплексной съемки на БПЛА пригодны для качественного анализа *in situ* после учета вариаций. В то же время значимого прироста детальности данных наземной съемки по сравнению с беспилотной не отмечается. Несмотря на высокую сходимость результатов беспилотной и вертолетной съемок, детальность данных с БПЛА существенно выше. Так, на карте магнитного поля, построенной по данным беспилотной съемки (рис. 4Б), линейные зоны запад-северо-западного и субмеридионального простираний проявляются более

контрастно и детально, чем на картах предыдущих исследований (рис. 4 А,С). В данном случае эти зоны отвечают многочисленным дайкам габбро-доллеритов, которые в северо-восточной части площади съемки перекрываются верхнерифейскими отложениями осадочного чехла. В области их погружения (контакта) под породы чехла, в том числе на участках, где его мощность существенно увеличивается, резко снижается интенсивность магнитного поля аномалий, однако зоны не утрачивают линейного вида. Таким образом, беспилотные технологии магниторазведки, в отличие от наземных и традиционных методов, в данном примере позволили достоверно картировать контакты интрузий габбро-доллеритов с осадочными породами чехла, а также проследить перекрытые мощной толщей осадков эти тела базитов.

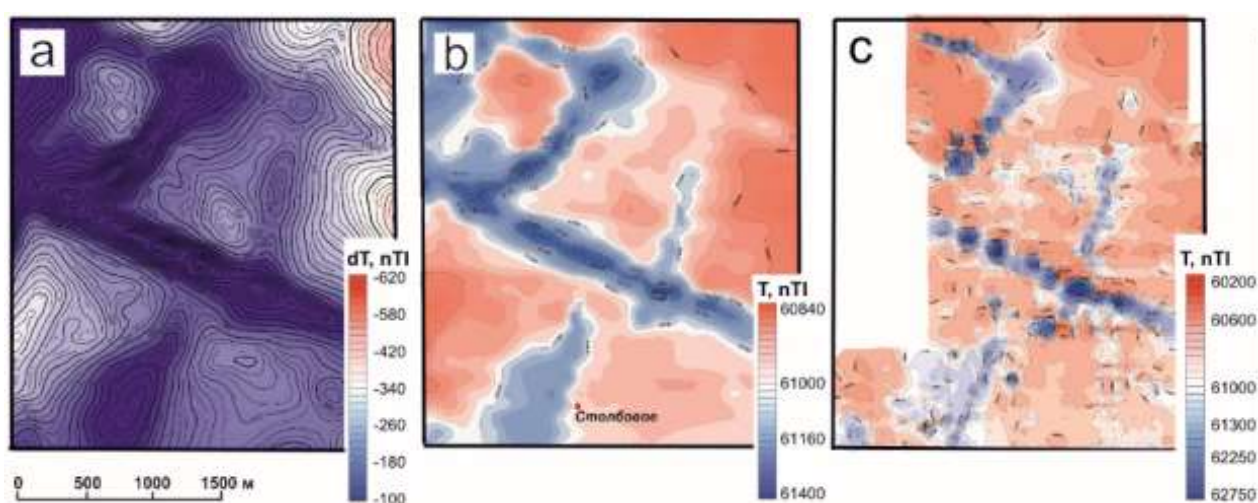


Рис. 4. Результаты магнитной съемки в вертолетном (А), беспилотном (Б) и пешеходном (С) вариантах.

Необходимо отметить, что сметная стоимость пешеходной магниторазведки без предварительных топогеодезических работ оценивается в данных условиях в 1000 USD за квадратный километр съемки масштаба 1:10000, в то время как беспилотная съемка рентабельна уже при \$350 за квадратный километр или порядка \$32 долларов за погонный километр. Один полноценный комплекс на БПЛА под управлением двух человек, позволяет выполнить в день порядка 30-50 погонных километров гамма-съемки и 50-100 км магниторазведки, в то время как выработка маршрутной (пешеходной) пары в тех же ландшафтно-геоморфологических условиях составляет 5-7 километров.

Разработанный комплекс можно рассматривать как технологию, позволяющую в значительной степени заместить традиционную наземную съемку при выполнении магниторазведочных работ масштабов 1:10000 – 1:1000 на сложнопроходимых территориях, в том числе со сложным рельефом и в зимнее время.

### Раздел 3. Минеральный и геохимический состав руд на месторождениях золота и серебра, относящихся к разным рудным формациям ОЧВП: Au-Ag месторождения Дальнее и Кварцевая Сопка, Ag месторождение Дукат, Ag-Pb месторождения Гольцовое и Мечта.

Проведено детальное изучение геохимического и минерального состав руд на золото-серебряных (Au-Ag) месторождениях Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП). Основные объекты исследования, по которым были получены наиболее значимые научные результаты – это эпитермальные Au-Ag месторождения Кварцевая Сопка (Эвенский рудный район) и Роговик (Омсукчанский рудный район).

Весь исследуемый материал прошел СПКА (испарение, просыпка) на широкий круг элементов (Эмиссионный спектральный..., 1976; Васильева и др., 1997; Васильева, Шабанова, 2005). Для определения содержаний Au использовался метод атомно-абсорбционной спектроскопии в его электротермическом варианте с графитовой печью-атомизатором [Воробьева и др., 1987]. Замеры проводились на атомно-абсорбционном спектрометре фирмы Perkin-Elmer M-503. Hg анализировалась атомно-абсорбционным методом с применением кислотного разложения. Определение содержаний S проводилось объемным йодометрическим методом [Инструкция..., 1983; Пономарев, 1966], Cl – аргентометрическим, F – фотометрическим. Se анализировался флуориметрическим методом, Te – экстракционным атомно-абсорбционным

Для минералогического и микроминералогического исследования руд и минералов, наряду с петрографическими и минералогическими, был использован ряд новейших методов: СВАОМ [Таусон и др., 2004, 2014], РФЭС и ЭЭС, СЭМ на растровом электронном микроскопе FEI Compaq Quanta 200 с приставкой рентгеновского микроанализа EDAX (США), сканирующая атомно-силовая (AFM) и туннельная (STM) микроскопия. С помощью микроанализатора JXA-8200, JEOL Ltd, Япония (г. Иркутск, ИГХ СО РАН) по методикам [Павлова и др., 1999; Павлова, Кравцова, 2006; Татаринев и др., 2017] было выполнено более 2000 элементоопределений.

Наиболее значимые научные результаты, полученные в 2017 году.

1. Методами электронной спектроскопии поверхности (РФЭС, ЭЭС), рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) и сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной спектроскопией (СЭМ-ЭДС) впервые изучены особенности состава поверхностных слоев самородного золота на Au-Ag месторождении Кварцевая Сопка [Tauson et. al. 2017]. Краткая характеристика образцов руд, из которых были отобраны золотины, дана в табл. 1.



Табл. 1. Краткая характеристика исследуемых образцов.

Место взятия	Характеристика образца
Канавка 203	Адуляр-кварцевая жила с сульфидной минерализацией (акантит, сульфосоли серебра, пирит), кюстелитом, самородным серебром и самородным золотом (электрумом). Размер золотинок 0.2-0.5 мм
Штольня №2	Адуляр-кварцевая жила с сульфидной минерализацией (акантит, сульфосоли серебра, галенит, сфалерит, пирит), кюстелитом, самородным золотом (электрумом). Размер золотинок 0.5-1 мм
Штольня №4	Адуляр-кварцевая жила с сульфидной минерализацией (акантит, сульфосоли серебра, блеклые руды, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит), науманнитом и самородным золотом (электрумом). Размер золотинок 0.3-1 мм

Установлено, что типичное для этого типа руд самородное золото постоянно содержит довольно много серебра, преобладает электрум пробностью от 670 ‰ до 700 ‰. Реже встречается кюстелит. Из примесей постоянно присутствует (мас. %): S (0.08-0.54), Te (0.12-0.17), с глубиной появляется Bi (0.50-1.46) и Cu (0.05-0.31 %), реже As (0.06-0.22), Se (0.67-0.75), Fe (0.10-0.54), Pb (0.10-0.41), Zn (0.16-0.25).

По пикам форм серы (данные РФЭС) выявлены моносulfидная ( $S^{2-}$ ), полиsulfидная ( $S_x^{2-}$ ,  $x > 2$ ) и сульфитная формы с энергиями связи S  $2p_{3/2}$  160.6, 162.9 и 165.8 эВ и соотношением атомных концентраций 44:37:19. Методом ионного травления показано, что пик S становится практически неотличимым от фона за 2.5 мин. травления, то есть толщина сульфидного слоя не более 15 нм. За это же время соотношение Ag/Au уменьшается и в дальнейшем не меняется.

Данные ЭОС представленные в табл. 2, говорят об обогащении поверхностного слоя Ag и S. В подчиненном количестве на поверхности присутствуют Au, O и Cl. Важно отметить, что оба образца, обнаружившие по данным РФЭС наличие окисленного золота, характеризуются высокими отношениями Ag/Au в поверхности – 4.0 и 4.8.

Табл. 2. Особенности химического состава поверхности самородного золота месторождения Кварцевая Сопка по данным ЭОС.

№№ образцов	Атомные проценты*						Ag/Au	(Ag+Au)/S
	Ag	Au	S	O	Cl	Sb		
КК-1	12.5	3.4	12.0	4.5	1.3	2.4	3.68	1.32
P-4581	12.1	2.5	11.0	3.1	0.8	-	4.84	1.33
P-5706	4.9	2.2	8.0	3.5	-	-	2.23	0.89
P-5707	12.1	3.0	21.1	3.4	0.9	-	4.03	0.72

\*Не указано содержание C, дополняющее сумму до 100%.

По данным изучения изоморфного Au в аргентите, химический сдвиг Au(I) пика Au 4f<sub>7/2</sub> составляет 0.7-0.8 эВ. В случае образцов P-4581 и P-5707 он заметно больше (1.0-1.8 эВ) и соответствует соединениям трехвалентного золота. Таким образом, данные РФЭС показывают, что низкопробное Au эпитеpмального месторождения и представленное электpумом, в 50% случаев содержит окисленное Au. Величина химического сдвига указывает на более высокую степень окисления, нежели Au (I). Кроме того, поверхность самородного Au эпитеpмального месторождения содержит тонкий слой (~15 нм) с повышенными содержаниями Ag и S, находящимися в соотношении ~0.6–1.1. Прямых доказательств к нему принадлежности окисленного Au пока не получено.

Анализ обзорных спектров РФЭС с ионным травлением показывает, что под этим слоем находится другой слой, обогащенный кремнием и кислородом. Слой имеет толщину свыше 60 нм после 2.5 мин травления, узкий спектр кислорода 1s фиксирует появление пика 533 эВ, характерного для SiO<sub>2</sub>. Для других образцов, отобранных на месторождении Кварцевая Сопка, отмечается снижение содержаний Si и O по мере травления, указывая на толщину этого слоя ~30 нм.

Поиск сульфидов Ag и Au в образцах Ag-Au месторождения Кварцевая Сопка методами РСМА и СЭМ-ЭДС показал двойственный результат. В краевых частях зерен нередко наблюдались участки, сильно обогащенные серебром. Например, в обр. P-5706 в каемке зерна толщиной ~10-20 мкм (точка 1, рис. 5) содержания Ag и S составляют ~64 и ~13 мас.% соответственно, тогда как в объеме частицы (точка 2) преобладает Au (66 мас.%), а содержание серы составляет около 1 мас.%. Состав точки 1 можно выразить формулой:



В ней имеется избыток отрицательного заряда, что, возможно, связано с окислением части S до сульфата или сульфита. Если весь кислород связан в сульфит-ионе, то атомное отношение Me/(S+Se) в сульфидной части составит 1.95, т.е. будет близким к стехиометрии Ag<sub>2</sub>S.

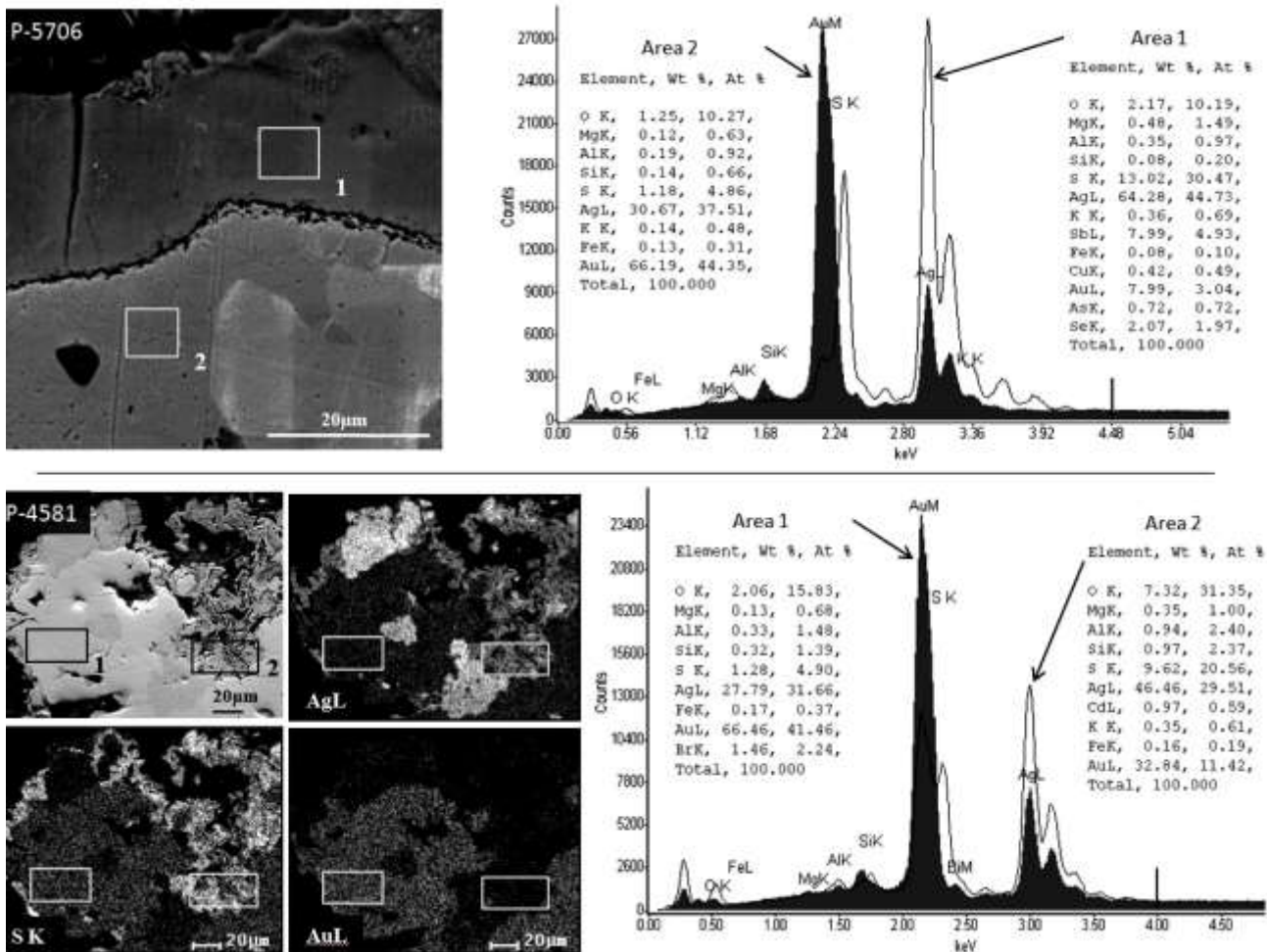


Рис. 5. Строение зерен самородного золота в образцах из месторождения Кварцевая Сопка с повышенными содержаниями серы. Изображения во вторичных электронах, в рентгеновских лучах элементов, рентгеновские энергетические спектры элементов, составы выделенных участков.

В табл. 3 представлены результаты определения отношений  $Ag/Au$  и  $(Ag+Au)/(S+Se)$  в точках, где содержания серы были на уровне, близком к таковому в сульфидах серебра и золота. Отношения  $Ag/Au$  далеко не всегда соответствуют стехиометрии двойных сульфидов. Лишь в образцах P-4581 и P-5707 (именно тех, где РФЭС фиксирует окисленное золото) обнаружены участки с составами, близкими к стехиометрии ютенбогаардтита  $Ag_3AuS_2$ . Это довольно рыхлые, зональные структуры типа реакционных каемок на зернах  $AuAg$  с повышенным содержанием S.

Данные табл. 3 показывают, что процесс “сульфидизации” [Palyanova, 2014] самородного золота охватывает область более высоких отношений  $Ag/Au$  по сравнению с ютенбогаардтитом, до почти чистого  $Ag_2S$ . Скорее всего, это говорит о существовании твердых растворов  $Ag_{2-x}Au_xS$  [Савва, Пальянова, 2007].

Табл. 3. Содержания S, Se, Ag и Au (ат. %) и их отношения в участках зерен самородного золота, обогащенных серой (месторождение Кварцевая Сопка).

№№ образцов	S	Se	Ag	Au	Ag/Au	(Ag+Au)/(S+Se)
КК-1	22.69	3.27	39.29	1.91	20.57	1.59
	23.76	0.87	43.47	0.20	217.35	1.77
	23.57	1.61	28.53	4.08	6.99	2.23
	23.57	2.63	40.81	3.09	13.21	1.68
P-4581	29.55	3.19	45.86	2.46	18.64	1.48
	29.40	3.30	46.55	2.43	19.16	1.50
	27.23	3.95	46.04	4.62	9.97	1.62
	26.57	0.80	37.45	12.52	2.99	1.83
	21.80	3.09	33.08	9.51	3.48	1.71
	20.56	-	29.51	11.42	2.58	1.99
	24.32	-	34.33	13.11	2.62	1.95
	26.30	-	40.40	14.21	2.84	2.08
P-5706	30.47	1.97	44.73	3.04	14.71	1.47
	30.72	1.71	46.37	2.84	16.33	1.52
P-5707	18.12	2.37	45.49	10.24	4.44	2.72
	15.93	2.25	46.32	7.86	5.89	2.98
	26.75	-	42.73	12.58	3.40	2.07
	35.13	-	35.76	15.69	2.28	1.46
	31.89	2.02	43.69	1.25	34.95	1.33

Примечание. Прочерк означает концентрацию ниже предела обнаружения; курсивом показаны данные для точек, в которых состав близок к ютенбогаардтиту:  $Ag/Au = 3$ ,  $(Ag+Au)/(S+Se) = 2$ .

Полученные данные показывают, что поверхность самородного Au эпитеpмального месторождения имеет сложное строение: тонкий обогащенный Ag и S слой сменяется слоем толщиной ~30-60 нм, содержащим SiO<sub>2</sub> и, возможно, играющим роль защитного покрытия для AgAu-сульфидов. Ранее покрытия толщиной менее 0.5 мкм с высокими содержаниями Si и O были обнаружены методом ЭОС на поверхности кристаллов золотоносного пирита из метасоматитов эпитеpмального Au-Ag месторождения Дальнее [Таусон, Кравцова, 2004].

Широкие вариации состава AuAg-сульфидов, выходящие далеко за пределы стехиометрических отношений элементов в известных бинарных сульфиды ютенбогаардтите и петровскаите, могут объясняться двумя причинами. Возможен вариант, когда твердые растворы Ag<sub>2-x</sub>Au<sub>x</sub>S после своего образования упорядочиваются в Ag, Au-сульфидные фазы, если отвечающие им фигуративные точки находятся вблизи составов Ag<sub>3</sub>AuS<sub>2</sub> и AgAuS. Если же содержания Au малы, фазы Ag<sub>2-x</sub>Au<sub>x</sub>S, по-видимому, способны сохраняться в виде твердых растворов. Их природа и стабилизирующие факторы требуют дополнительного изучения.

В результате настоящего исследования выяснено, что низкопробное золото

эпитермального Au-Ag месторождения в половине случаев содержит окисленное золото со степенью окисления Au(I) или выше. На поверхности такого самородного Au присутствует тонкий слой (~15 нм) с повышенными содержаниями Ag и S, под которым находится обогащенный SiO<sub>2</sub> слой толщиной ~30-60 нм. Такое многослойное покрытие может нести защитную функцию, обеспечивая сохранность сульфидов Ag и Au в поверхностных частях зерен AuAg в окислительных условиях. Богатые S краевые участки частиц самородного золота далеко не всегда отвечают стехиометрии известных двойных сульфидов Ag и Au, а имеют переменный состав, что говорит о существовании твердых растворов Ag<sub>2-x</sub>Au<sub>x</sub>S. Нестехиометрические тройные фазы с дефицитом серы могли образоваться путем агрегации кластеров типа Ag<sub>n</sub>Au<sub>m</sub>S и последующей самосборкой наночастиц в поликристаллические структуры с развитыми дислокационными межблочными границами, насыщенными серой и, возможно, другими элементами, стабилизовавшими исходные кластеры (Se, Sb). Химическая и фазовая зональность состава поверхностного слоя самородного золота представляет собой довольно распространённое в природе явление и свойственна не только рудному, но и россыпному золоту. Она может быть использована для установления принадлежности золота к определенной геохимической обстановке и типу оруденения, а также учитываться при разработке технологии извлечения золота из руд месторождений разных генетических типов.

2. Получены новые данные по составу самородного серебра Au-Ag месторождения Роговик (Омсукчанский прогиб, Северо-Восток России). Впервые в Au-Ag рудах установлены амальгамы серебра.

Самородное серебро было изучено во всех трех типах руд, выявленных на месторождении Роговик: золото-серебряном (Au-Ag), серебро-полиметаллическом (Ag-Pb) и золото-серебро-полиметаллическом (Au-Ag-Pb) [Кравцова и др., 20015, 2012; Кравцова, Макшаков, 2016].

Самородное серебро в собственно Au-Ag рудах встречается редко. Преобладает его золотосодержащая разновидность – кюстелит. Чаще всего самородное серебро образует тонкодисперсные включения в кварце, заполняя микротрещинки и интерстиции, реже отмечается в ассоциации с кюстелитом, сульфосолями и селенидами серебра. Размер зерен, не превышает 10 мкм. Преобладают округлые формы, часто зональной структуры. Примесь Hg присутствует во всех изученных нами зернах, от 0.53 мас.% до 1.70 мас.%. Из других примесей установлены Au, Sb и Se. Содержания этих элементов не превышают 2 мас.% (рис. 6, табл. 4).

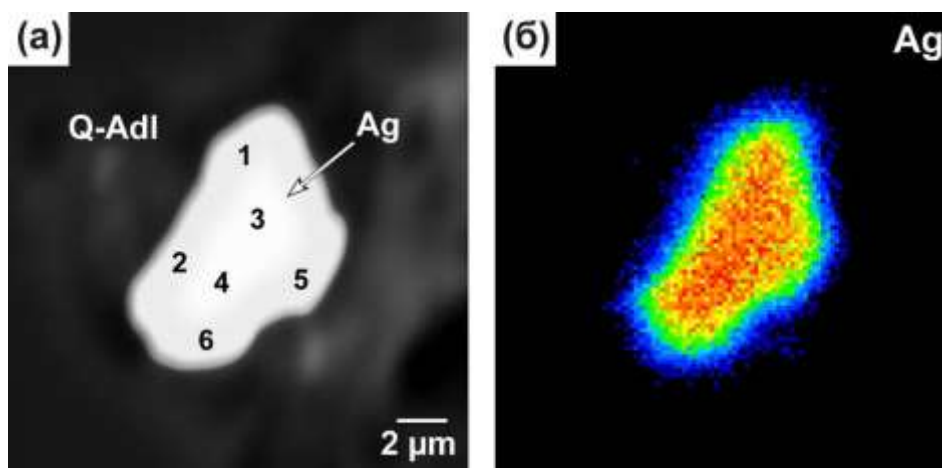


Рис. 6. Интерстициальное выделение самородного серебра (Ag) размером 6x10 мкм в кварц-адуляровом (Q-Adl) прожилке. Изображения: а – в обратно рассеянных электронах, б – в рентгеновских лучах. 1-6 на фото – точки определения содержаний элементов, указанных в табл. 4 (зерно 1).

Табл. 4. Элементный состав самородного Ag (зерна 1–4). Au-Ag руды.  
Месторождение Роговик.

n	Ag	Au	Hg	Sb	Se	Сумма
Зерно 1						
1	96.31	0.12	1.27	0.39	0.59	98.68
2	96.50	0.18	0.98	0.46	0.45	98.57
3	98.77	<0.12	<0.20	<0.14	<0.16	98.77
4	97.89	<0.12	<0.20	<0.14	<0.16	97.89
5	96.08	0.21	1.46	0.56	0.19	98.50
6	94.55	0.31	1.32	0.68	0.22	97.08
Зерно 2						
1	96.85	<0.12	0.81	1.74	0.26	99.66
2	96.71	<0.12	0.53	1.18	1.01	99.43
Зерно 3						
1	96.87	0.89	1.70	0.51	<0.16	99.68
2	95.08	1.86	1.50	0.41	<0.16	98.85
Зерно 4						
1	96.86	<0.12	0.95	1.75	0.49	100.05
2	96.70	0.16	0.89	1.75	0.56	100.06

Примечание. As, Te, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Fe, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Mn – не обнаружены.

Самородное серебро в Ag-Pb рудах встречается в ассоциации с сульфосолями серебра и науманнитом, реже находится в виде сростаний с Se-акантитом, еще реже с фрейбергитом. Образует микро- и тонкодисперсные включения в кварце и пирите (Рис. 7, табл. 5, зерна 5, 6). Преобладает ксеноморфная форма зерен размером не более 30 мкм, сохраняются элементы зональности. По сравнению с самородным серебром Au-Ag руд, концентрации Hg возрастают до 12.62 мас.%. Из других примесей отмечаются Sb, Se, Cu и Fe (рис. 8, табл. 6).

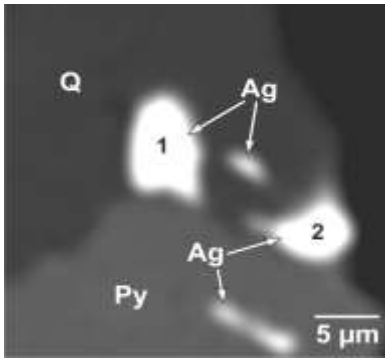


Рис. 7. Тонкодисперсное самородное серебро (Ag) в ассоциации с кварцем (Q) и пиритом (Py). Изображение дано в обратно-рассеянных электронах. 1, 2 на фото – точки определения содержаний элементов, указанных в табл. 5 (зерна 5, 6).

Табл. 5. Результаты рентгеноспектрального микроанализа (мас. %) самородного серебра (зерна 5, 6). Ag-Pb руды. Месторождение Роговик.

n	Ag	Hg	Sb	Se	Te	Cu	Zn	S	Сумма
1 (зерно 5)	99.85	<0.20	<0.14	<0.16	<0.20	<0.10	<0.10	<0.15	99.85
2 (зерно 6)	99.92	<0.20	<0.14	<0.16	<0.20	<0.10	<0.10	<0.15	99.92

Примечание. Au, As, Pb, Ni, Co, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Mn – не обнаружены.

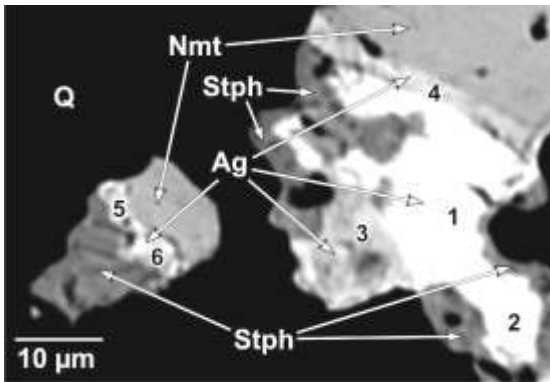


Рис. 8 Ксеноморфные агрегаты, состоящие из самородного серебра (Ag), науманнита (Nmt) и стеганита (Stph) в кварце (Q). Изображение дано в обратно рассеянных электронах. 1-6 на фото – точки определения содержаний элементов, указанных в табл. 6 (зерна 7-10).

Табл. 6. Элементный состав самородного Ag (зерна 6-10). Ag-Pb руды.

n	Ag	Hg	Sb	Se	Cu	Fe	Сумма
Зерно 7							
1	89.34	11.13	<0.14	<0.16	<0.10	<0.05	100.47
2	87.63	10.93	<0.14	<0.16	0.34	<0.05	98.90
3	96.74	2.49	1.14	0.34	<0.10	<0.05	100.71
4	95.51	2.66	<0.14	2.04	0.28	<0.05	100.49
Зерно 8							
5	96.14	2.45	0.34	0.64	<0.10	<0.05	99.57
6	96.96	1.94	0.48	1.35	<0.10	<0.05	100.73
Зерно 9							
1	96.42	2.14	<0.14	1.02	0.22	0.28	100.08
2	96.14	2.65	0.34	0.64	<0.10	<0.05	99.77
Зерно 10							
1	86.72	12.62	0.82	0.27	0.32	<0.05	100.75
2	94.58	4.85	0.72	0.18	0.15	<0.05	100.48

Примечание. Au, As, Te, Pb, Ni, Co, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Mn – не обнаружены.

Самородное серебро в комплексных Au-Ag-Pb рудах образует сростания с сульфосолями серебра, науманнитом, акантитом, аргиродитом, часто замещает их на отдельных участках, выполняет каемки вокруг этих минералов. Преобладает серебро с размером частиц до 50 мкм и более. Также характерны зональные структуры, осложненные разными неоднородностями. Состав примесей и уровень их концентраций неустойчив и является отражением их более сложного и неустойчивого вещественного состава. Примеси образуют Au, Hg, Se, Sb, Cu, Fe, Pb (рис. 9 и 10, табл. 7). Концентрации Hg возрастают до 24.61 мас. %, что указывает на присутствие в рудах амальгам серебра.

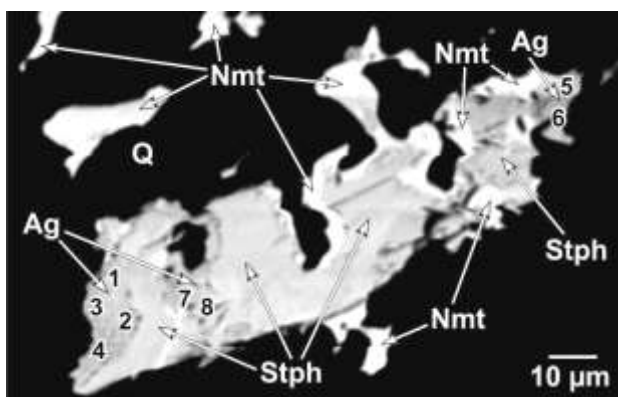


Рис. 9. Ксеноморфный агрегат, состоящий из самородного серебра (Ag), науманнита (Nmt) и стэфанита (Stph) в кварце (Q). Изображение дано в обратно рассеянных электронах. 1–8 на фото – точки определения содержаний элементов, указанных в табл. 7 (зерна 11–13).

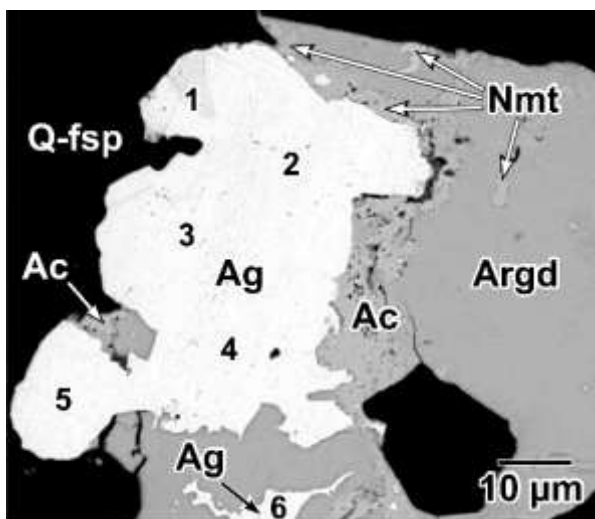


Рис. 10. Ксеноморфный агрегат, состоящий из самородного серебра (Ag), аргиродита (Argd), науманнита (Nmt) и акантита (Ac) в кварц-полевошпатовом (адуляр, ортоклаз) агрегате (Q-fsp). Изображение дано в обратно рассеянных электронах. 1-6 на фото – точки определения содержаний элементов, указанных в табл. 7 (зерна 14, 15).

Табл. 7. Элементный состав самородного Ag (зерна 10-16). Au-Ag-Pb руды.

n	Ag	Au	Hg	Sb	Se	Cu	Fe	Pb	Сумма
Зерно 11									
1	94.72	<0.12	<0.20	0.64	2.91	<0.10	<0.05	<0.15	98.27
2	94.70	<0.12	<0.20	0.54	2.84	<0.10	<0.05	<0.15	98.08
3	99.29	<0.12	<0.20	<0.14	0.19	<0.10	<0.05	<0.15	99.48
4	99.20	<0.12	<0.20	<0.14	0.37	<0.10	<0.05	<0.15	99.57



Зерно 12									
5	96.64	0.62	0.22	<0.14	<0.16	<0.10	0.26	1.05	98.79
6	95.07	1.39	0.35	<0.14	<0.16	1.62	<0.05	<0.15	98.43
Зерно 13									
7	98.30	<0.12	<0.20	0.84	<0.16	<0.10	0.08	<0.15	99.22
8	95.03	1.09	1.20	<0.14	<0.16	0.49	<0.05	1.58	99.39
Зерно 14									
1	77.28	7.88	14.26	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	99.42
2	76.32	9.65	15.15	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	101.12
3	66.78	9.59	24.60	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	100.97
4	64.73	9.12	24.61	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	98.46
5	67.32	8.03	23.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	98.55
Зерно 15									
6	77.70	10.02	11.69	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	99.41

Примечание. As, Te, Zn, Ni, Co, W, Mo, Sn, Bi, Ge, Mn – не обнаружены.

Ранее в составе руд месторождения были установлены киноварь, имитерит, ртутьсодержащие кюстелит, электрум и золото [Кравцова и др., 2012]. Выявленное нами присутствие и высокие содержания Hg в самородном серебре месторождения Роговик, вплоть до образования амальгам, не типично не только для Au-Ag руд Омсукчанского прогиба, но и для ОЧВП в целом. Все это можно объяснить приуроченностью месторождения к участку сочленения крупных разломов, один из которых контролирует позднемеловой-палеогеновый Догдо-Эриkitский ртутоносный пояс [Шпикерман, Горячев, 1996; Ханчук, 2006], юго-восточный фланг которого и фиксирует выявленная ртутная минералого-геохимическая специфика месторождения Роговик.

Типохимизм самородного серебра на Au-Ag месторождении Роговик проявлен достаточно отчетливо и хорошо отражает различия в геохимической специфике руд. Химический состав самородного серебра является устойчивым индикатором, характеризующим тип рудной минерализации. Специфика самородного серебра отражена в количестве примесей и уровне их концентрирования. На раннем Au-Ag этапе образуется самородное серебро с простым химическим составом и низким уровнем концентрации элементов-примесей – Au, Hg, Sb, Se, S. Самородное серебро более позднего этапа, на котором сформировались Ag-Pb и Au-Ag-Pb руды, характеризуется сложным, неустойчивым химическим составом и более высокими содержаниями элементов примесей – Hg, Sb, Se, S, Cu, Te, Zn и Fe, а в Au-Ag-Pb появляются еще Au и Pb.

В практическом отношении полученные результаты 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 золото-серебряных.

Раздел 4. Разработка универсального геоинформационного подхода к оценке перспектив площади исследований и выделению наиболее перспективных участков, применимого для различных видов полезных ископаемых.

Современная ситуация в области геологоразведочных работ (ГРР) требует оптимизации работ. На поисково-оценочных этапах ГРР в этом случае повышаются требования к результативности «легких» геохимических и геофизических методов. При этом научно-технический прогресс обеспечивает возможность получения все большего набора характеристик геологической обстановки на изучаемой площади. Современное геофизическое оборудование позволяет фиксировать большой набор параметров среды. Быстро развивающееся направление дистанционного зондирования Земли, в том числе беспилотные технологии, также позволяют получать большой набор геофизических, мультиспектральных, морфоструктурных показателей. Значительное количество получаемых признаков в совокупности со сложными, и зачастую, нетрадиционными типами оруденения затрудняют быстрый анализ геологической ситуации и последующее принятие решений, в том числе выявление наиболее перспективных для постановки детальных работ участков.

Вне зависимости от программного обеспечения, применяемого при обработке данных конкретного метода, для итоговой систематизации и анализа данных используются геоинформационные технологии, которые обеспечивают возможность согласованного представления и визуального анализа всех имеющихся признаков в картографическом виде. В этом случае преимущества, полученные за счет описания геологической среды большим количеством параметров, становятся в некотором роде недостатком, поскольку послойное представление данных в геоинформационных системах позволяет просматривать слои регулярных данных только по очереди, выполняя переключения между ними, что затрудняет и существенно замедляет визуальный анализ и принятие решений.

Предметом настоящего исследования является универсальная и экспрессная методика обработки разнородной геолого-геохимической и геофизической информации, которая позволяет быстро вычислить компактный набор информативных слоев признаков, обеспечивающих эффективную навигацию последующих детальных исследований.

В обобщенном виде методика включает следующие позиции:

1. Векторизация геологических и топографических карт (или иной способ получения цифровых данных о рельефе местности). В первую очередь необходимы слои структурно-вещественных комплексов, структурно-тектонических нарушений, гидросети, рельефа.

2. Уточнение геологических позиций с применением геофизических данных, в том числе возможный расчет дополнительных производных от первичной информации, выполнение послонной инверсии и другие виды обработки, позволяющие получить потенциально значимую информацию

3. Расчет коэффициентов контрастности для химико-аналитических данных.

4. Расчет дополнительных потенциально значимых характеристик – морфоструктурных параметров территории, производных от геологических карт, таких, как близость расчетных точек к структурно-тектоническим нарушениям или их попадание в зоны распространения определенных структурно-вещественных комплексов и др.

5. Приведение всех данных к одной регулярной сети. Нормирование, шкалирование, классификация всех признаков в соответствии с их положительной или отрицательной ролью в контексте решаемой геологической задачи.

6. Математический анализ всего набора данных с целью выделения показателей, связанных с искомой величиной. Для этого желательно иметь эталоны, при отсутствии таковых, положительные факторы определяются по результату расчета, картирования и интерпретации полей распределения главных компонент (каждая компонента картируется и анализируется с учетом не только вклада в нее факторов, но и с позиций ее пространственных особенностей). Применяется метод главных компонент в робастном варианте, позволяющий получать более устойчивые к случайным выбросам оценки.

7. В случае наличия эталонов и успешного получения ассоциации признаков, связанных с интересующими геологическими характеристиками, такие ассоциации картируются как один или несколько интегральных показателей, причем высокое значение каждого показателя указывает на высокую перспективность расчетной области с позиций решаемой задачи.

8. Возможен вариант, когда даже при наличии эталонов, полезный компонент (или иная характеристика) не входит в ассоциацию ни с какими иными производными от

геологической ситуации. В этом случае необходимо разделить площадь на несколько обособленных выборок в соответствии с пространственным распределением первых главных компонент и произвести факторный анализ на каждом участке по отдельности. Установлено, что на площади работ присутствует три различных типа оруденения, естественно, характеризующихся разными поисковыми критериями и, соответственно, различным набором факторов.

9. Выделение и формирование итоговых наборов признаков, являющихся указанием на искомую геологическую позицию.

10. Их нормирование, шкалирование и/или классификация, обеспечивающие корректное сложение в один или несколько интегральных показателей (например, в соответствии с вкладами в главные компоненты). Каждый показатель должен принимать значения в диапазоне от 0 до 1, где максимальное значение – положительная роль признака в контексте решаемой задачи.

11. Суммирование признаков в интегральный показатель/и, отражающий, например, перспективность участка площади на какой-либо вид полезного компонента.

Таким образом, предлагаемая методика 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.

## Основные результаты проведённого 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 золото-серебряных.

По мнению авторов, применение низковысотной 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 multicopter 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.

## Список публикаций по теме

1. Кравцова Р.Г., Таусон В.Л., Пальянова Г.А., Макшаков А.С., Павлова Л.А. Особенности состава самородного серебра золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений, 2017, т. 59, № 5, с. 385–400.
2. Макшаков А.С., Кравцова Р.Г., Горячев Н.А., Пальянова Г.А., Павлова Л.А. Первая находка высокортутистого серебра в рудах золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // ДАН, 2017, т. 476, № 3, с. 327–331.
3. 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.
4. 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
5. Будяк А.Е., Паршин А.В., Спиридонов А.М., Реутский В.Н., Дамдинов Б.Б., Волкова М.Г., Тарасова Ю.И., Абрамова В.А., Брюханова Н.Н., Зарубина О.В. Геохимические особенности формирования Au–U месторождений типа «Несогласия» (Северное Забайкалье) // Геохимия, 2017, Т. 55, № 2, с. 149-160 (ИФ = 0,622)
6. Паршин А.В., Аузина Л.И., Просекин С.Н., Блинов А.В., Костерев А.Н., Лоншаков Г.С., Усманова А.М., Шестаков С.А., Давыденко Ю.А. Геоинформационный подход к оценке ресурсной перспективности площадей (на примере месторождений подземных вод Восточной Сибири) // Геоинформатика, 2017, № 1, С. 11-20.
7. 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
8. Чугаев А.В., Будяк А.Е., Чернышев И.В., Шатагин К.Н., Олейникова Т.И., Тарасова Ю.И., Скузоватов С.Ю. Источники обломочного материала неопротерозойских метаосадочных пород Байкало-Патомского пояса (Северное Забайкалье) по Sm-Nd изотопным данным // Геохимия, 2017, Т. 55, № 1, с. 17-25
9. Абрамова В.А., Паршин А.В., Будяк А.Е., Птицын А.Б. Геоинформационное моделирование процессов криогенного выветривания сульфидов в зоне Удоканского

рудного месторождения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2017, № 3, С. 182-189.

10. Паршин А.В. Комплекс для беспилотной аэромагниторазведки. Патент на полезную модель РФ №172078