

*На правах рукописи*

*Сереев -*

**СЕРЕБРЯНСКАЯ ТАТЬЯНА СЕРГЕЕВНА**

**ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
ЗОЛОТОНОСНЫХ МЕТАСОМАТИТОВ ХАРГИНСКОГО РУДНОГО  
ПОЛЯ**

Специальность 25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» (по геолого-минералогическим наукам)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» на кафедре Геологии, минералогии и петрографии Института горного дела, геологии и геотехнологий

**Научный руководитель:**

доктор геолого-минералогических наук, профессор

**Сазонов Анатолий Максимович**

**Официальные оппоненты:**

доктор геолого-минералогических наук  
кандидат геолого-минералогических наук

**Кучеренко Игорь Васильевич**

**Самородский Павел Николаевич**

**Ведущая организация:** ОАО «Красноярскгеолсъемка», г. Красноярск

Защита диссертации состоится « 20 мая » 2011 г. в 10 час.00 мин. на заседании Диссертационного совета Д 212.099.09 в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660025, г. Красноярск, пер. Вузовский, ауд. 237.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Автореферат диссертации разослан: 13 апреля 2011 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
канд. геол.-минерал. наук



М.В. Вульф

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Анализ российской минерально-сырьевой базы золота и золотодобычи указывает на то, что в настоящее время Россия является страной со значительной добычей золота. Ресурсный потенциал россыпей за более чем двухсотлетний период освоения в значительной степени исчерпан. В последние 20 лет в стране постоянно возрастает добыча золота из коренных месторождений. Около 75% минерально-сырьевого потенциала золота (запасы и прогнозные ресурсы) России находится в труднодоступных районах Сибири и Дальнего Востока, для реализации которого потребуются крупные инвестиции. В 2009 году, впервые, более чем за 140 лет промышленной добычи, в Амурской области было добыто 21 тонна 946 кг золота. Всего в области золота из коренных месторождений было произведено 15 тонн 438 кг, или 70,3 % от общей добычи 2009 года ([www.amur.net.ru](http://www.amur.net.ru)). Следует отметить, что происходит вовлечение в добычу месторождений с относительно бедными рудами, но с большими общими запасами. В связи с этим, идет массовая переоценка месторождений, отработка которых ранее считалась нерентабельной. В настоящее время в производстве золота стали использоваться современные технологии извлечения: кучное выщелачивание, биовыщелачивание и др., что позволяет вовлекать в рентабельную разработку подобных месторождений.

Настоящая работа посвящена Харгинскому рудному полю (северо-восток Амурской области). Впервые для месторождений этого района выполнено подробное исследование петрографического состава метаморфических и дайковых пород, рудоносных метасоматитов, породо- и рудообразующих минералов, их морфоструктурных особенностей, морфологии и состава золота, последовательности минералообразования в рудах. Кроме охарактеризованных ранее альбититов выделены аргиллизиты, проявлению которых обязано облагораживание руд золота. В альбититах и аргиллизитах выявлена и охарактеризована минеральная зональность. Материалы исследования были использованы частично в производственном отчете по подсчету запасов золота.

**Цели и задачи исследования.** *Целью* диссертационной работы являлось исследование вещественного состава руд и выявление особенностей формирования золоторудной минерализации Харгинского рудного поля. В связи с этим решались *основные задачи*:

1. Изучение геологического строения вмещающих пород и руд.
2. Исследование породного и минералогического состава рудных тел.
3. Выявление парагенетических ассоциаций рудных минералов, в том числе продуктивных.

4. Изучение химического состава рудных и нерудных минералов, распределения микропримесей в золоте разных морфологических типов.

**Фактический материал, методы исследования и личный вклад в решение проблемы.** В основу диссертационных исследований положены наблюдения автора, проработавшего более десяти лет в золотодобывающей отрасли, а также материалы, собранные в процессе полевых работ 2005-2010 гг. Объектом диссертационных исследований явилась рудовмещающая минерализованная зона, сложенная углерод-слюдистыми сланцами афанасьевской свиты ( $PZ_1^{?af}$ ), метапесчанниками, метаалевролитами и углерод-слюдистыми филлитовидными сланцами златоустовской свиты ( $C_2z_l$ ), а также серицит-хлоритовыми, хлорит-актинолит-эпидотовыми сланцами (метабазальтами) Златоустовского комплекса ( $C_3^{?z}$ ). Оруденение на изучаемой территории приурочено к горизонту метасоматитов без четких геологических границ, выделяемых по наличию слоев, прослоев и линз пород, претерпевших глубокие метасоматические изменения, в которых наблюдаются слабоизмененные мелкие субпластовые тела метабазальтов.

Во время работы на рассматриваемом объекте исследования опирались на полевое изучение разрезов с отбором представительных образцов, из которых впоследствии были изготовлены шлифы и аншлифы, а также проведены исследования протолок из рудных интервалов на предмет изучения минерального состава руд и обнаружения в них свободного золота. Всего изучено около 526 шлифов, 211 аншлифов, 75 шлихов, 197 протолок, а также обработано более 650 пробирных анализов, 1300 спектральных анализов, 506 микрозондовых определений состава рудных и нерудных минералов.

#### **Научная новизна полученных результатов.**

1. В пределах Харгинского рудного поля охарактеризованы золотоносные типы метасоматитов и установлена их минералогическая зональность. 2. Впервые выделена аргиллизация, выполнено детальное минералого-петрографическое описание метасоматитов с применением микрозондовых исследований. 3. Изучены типоморфные особенности минералов рудного комплекса и золота по латерали и на глубину месторождения, проведена сравнительная характеристика россыпного и рудного золота. 4. Выделены минеральные ассоциации, благоприятные для отложения золота, а также последовательность образования минералов.

**Практическая значимость.** Материалы исследования вошли разделами в отчет по подсчету запасов месторождения. Практически значимыми являются составные части диссертационной работы касающиеся: 1) Минералого-петрографической характеристики пород вмещающей толщи месторождения по латерали и вертикали. 2) Морфологического, оптического и химического типоморфизма минералов, слагающих рудные тела, начиная с их характеристики в горных выработках, исследований под микроскопом,

рентгено-фазовых определениях состава микрозернистых образований и применения микронзондовых исследований. 3) Минералого-петрографической характеристики рудных метасоматитов, их минералогической зональности, что может быть использовано при поисках золота на прилегающих к участку площадях. 4) Исследования химического состава золота, сравнительной характеристики пробности и набора примесей в россыпном и рудном золоте Харгинского рудного поля.

**Реализация работы.** Материалы исследований вошли в отчет о результатах поисковых и оценочных работ 2006–2009 гг. с подсчетом запасов на 01.05.2009 г, а также использованы при разработке технологической схемы обогащения руд.

**Апробация работы и публикации.** Апробация работы проводилась на региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 8–10 февраля 2001 г., г. Благовещенск-на-Амуре; на Всероссийской научной конференции в Архангельске, 2002 г.; на Всероссийском симпозиум (ХИФПИ-02) в Хабаровске 24–27 июня 2002 г.; конференции «Современные технологии освоения минеральных ресурсов» в г. Красноярске, 2003 г.; на XXIII Российской школе по проблемам науки и технологий, Миасс, 2003 г.; на V Международной научно-практической конференции в Новосибирске, 2010 г.; на Всероссийской научно-практической конференции в г. Улан-Уде, 2010 г. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе одна статья в реферируемом журнале.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы 181 страница, в том числе 30 рисунков, 5 таблиц и 17 текстовых приложений. Список литературы содержит 141 наименование, в том числе 98 опубликованных. Во **введении** обоснована актуальность, обозначены цели и задачи работы, показана новизна и практическая значимость проведенных исследований, сформулированы защищаемые положения. В **первой главе** дана характеристика геологического строения изучаемого района. Во **второй главе** описана петрография вмещающих пород и метасоматитов, охарактеризована минеральная метасоматическая зональность рудных тел и парагенетические минеральные ассоциации. В **третьей главе** рассмотрены морфологические особенности и химический состав сульфидов и золота рудного поля. **Четвертая глава** посвящена стадийности образования руд, даны общие сведения о составе флюидных включений, возрасте оруденения, охарактеризованы термодинамические условия метаморфизма и метасоматоза. В **заключении** обобщены основные научные и практические результаты работы.

**Благодарности.** Работа выполнена под руководством д.г.-м.н. А.М. Сазонова, которому автор выражает глубокую признательность. Успешному выполнению диссертационного исследования способствовала совместная работа и консультации сотрудников кафедры ГМиП ИГДГТ СФУ –

*профессоров Р.А. Цыкина, С.И. Леонтьева, доцентов Л.П. Костененко, О.Ю. Перфиловой, В.Г. Михеева. Поддержку и помощь автору оказывали доктора геолого-минералогических наук Л.Я. Шмураева, Е.Г. Ожогина, которых автор искренне благодарит. За ценные советы, рекомендации, критические замечания и консультации автор благодарит доктора геолого-минералогических наук Г.И. Неронского. В проведении полевых работ, оформлении глав диссертации, практическую помощь и ценные советы в процессе работы оказали ведущие геологи уч. Албын ООО НППФ «Регис» В.Б. Саганюк, В.В. Сикорин, В.И. Куделько, главный гидрогеолог ООО НППФ «Регис» Т.А. Бардина, а также геологи уч. Албын Н.М. Нуриева и В.И. Марков. Автор благодарит И.В. Саганюк за помощь в оформлении графических приложений.*

*Особую благодарность автор выражает родным и близким, без чьей поддержки и помощи работа не смогла бы состояться.*

## **КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ХАРГИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**

Харгинское рудное поле расположено в центральной части Приамурской золоторудной провинции и относится к Верхнеселемджинскому золоторудному району, который совместно с Ниманским и Кербинским рудными районами объединяются в Селемджино-Кербинскую металлогеническую зону. Последняя в геологическом отношении представлена Селемджинско-Кербинским геосинклинальным поднятием, расположенном в области сочленения Буреинского кристаллического массива, Монголо-Охотской и Сихотэ-Алинской складчатых систем. Поднятие относится к переходным тектоническим структурам на границе платформ и подвижных поясов и является «узловым сочленением», этапы становления и развития которого связаны с деструкцией кристаллического основания древних платформ. Вспышки золотоносности сопряжены с узлами пересечения Монголо-Охотского разлома поперечными и диагональными разломами. С трассами глубинных разломов совпадают шарниры «рудоносных» куполовидных антиклиналей и оси крупных поперечных изгибов этих структур (рис. 1 А).

Континентально-осадочные отложения верхнедокембрийского-нижнепалеозойского метаморфического комплекса Харгинского рудного поля представлены образованиями афанасьевской и златоустовской свит. Все породы подверглись метаморфическим и гидротермальным изменениям разной интенсивности, поэтому тела полнопроявленных метасоматитов рассматриваются в числе элементов разреза, наряду с остальными эпипородами (рис. 1 Б).

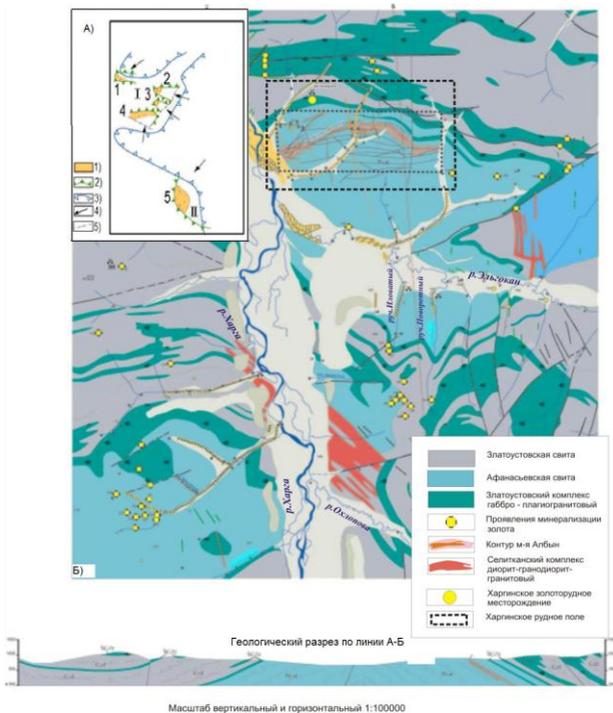


Рисунок 1. **А)** Положение золотоносности в куполовидных структурах Верхнеселемджинской зоны (I) и Ниманского района (II) в Хабаровском крае: 1) золотоносные площади. 2) куполовидные структуры: 1 – Челогорская; 2 – Неэргенская; 3 – Эльзюканская; 4 – Афанасьевская; 5 – Правобуреинская. 3) Баджалъско-Ямалинский минимум силы тяжести. 4) предполагаемое направление флюидов. 5) разломы (Эйриш Л.В., 2002); **Б)** Схематическая геологическая карта масштаба 1:50 000.

Образования *афанасьевской свиты* не охарактеризованы органическими остатками, что привело к различиям в их возрастных датировках: от архейского до верхнепалеозойского возраста. Результаты радиологического датирования мусковит-кварц-альбитовых сланцев афанасьевской свиты не дают однозначного ответа на вопрос о возрасте пород. По результатам U-Pb датирования цирконов возраст сланцев оценивается не менее чем в  $251 \pm 6$  млн. лет, что соответствует границе перми и триаса и может указывать на один из этапов метаморфизма. Учитывая структурное положение свиты и двухэтапный метаморфизм пород, условно возраст принимается раннепалеозойский (Агафоненко С.Г. 2002).

*Златоустовская свита* ( $C_2$  z1) распространена в северной части Харгинского рудного поля и по тектоническим контактам залегает на образованиях афанасьевской свиты. Мощность описываемой части разреза составляет 625 м. К ней отнесена терригенно-вулканогенная толща,

сложенная чередованием метаэффузивов с метапесчаниками, метаалевролитами, слюдисто-альбит-кварцевыми сланцами, углеродистыми филлитовидными глинистыми сланцами и пачками их переслаивания. Возраст златоустовской свиты принят среднекаменноугольным.

Комплекс даек на месторождении представлен жильными андезибазальтами, андезитами, риолитами, лампрофирами, а также переходными разностями. Простираение пород различное – от субмеридионального, диагонального до субширотного направлений. Дайки характеризуются мощностью в среднем 1-7 м и протяженностью от 0,5 до 1,5 км. Породы подвергнуты вторичным изменениям в различной степени.

Оруденение Харгинского рудного поля приурочено к зоне метасоматитов, которая отмечается в кровле афанасьевской свиты. Это сложнопостроенная, субсогласно залегающая слабоволнистая пластовая зона, без резких геологических границ, характеризующаяся наличием прослоев пород с глубокими метасоматическими изменениями. Большая часть зоны имеет трехчленное строение: верхнее тело метасоматитов мощностью от 3-8 до 55 м, нижнее тело метасоматитов мощностью 2-45 м и разделяющий их слой, практически не затронутый процессами метасоматоза, мощностью до 50 м, при этом в каждом из тел могут присутствовать до 20 % материала соседнего тела. На описываемой площади метасоматиты группируются в рудную зону, которая вытягиваются по простиранию в виде широтной полосы шириной 300-500 м и протяженностью около 3,0 км (Цыпуков Ю.П. 1983).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ (по защищаемым положениям)

Первое защищаемое положение. *Субстратом рудоносных метасоматитов являются пелиты и базиты, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации. В метапелитах развиты хлорит, серицит, биотит, гранат, кварц и альбит, а в метабазитах - эпидот, хлорит, актинолит, кварц и альбит. Породообразующие минералы имеют переменный состав и помимо фациальных условий характеризуют особенности химического состава протолита.*

Минеральный состав и структурно-текстурные особенности пород Харгинского рудного поля свидетельствуют о метаморфизме исходных пород в условиях зеленосланцевой фации. Данные химического анализа метаморфических пород позволяют судить об их генетической принадлежности. При идентификации природы протолита используют петрохимические диаграммы, рассмотренные в литературных источниках (Добрецов Н. Л. 1972, Великославинский Д. А. 1972). Результаты пересчета химического анализа сланцев афанасьевской свиты Харгинского рудного поля были нанесены на одну из таких диаграмм, из которой видно, что данные легли в поле метапелитов зеленосланцевой метаморфической зоны, для которой типичными ассоциациями являются мусковит-хлорит-кварц и альбит-эпидот-кварц (рис. 2).

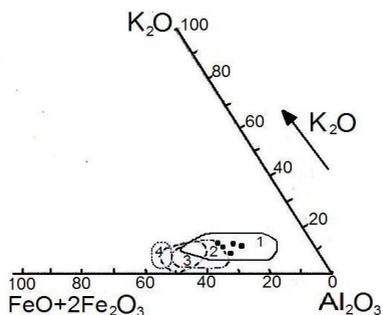


Рисунок 2. Результаты химического анализа сланцев афанасьевской свиты, нанесенные на петрохимическую диаграмму полей метапелитов (Великославинский, 1972): 1 – зеленосланцевой фации; 2 – зоны ставролита; 3 – зоны кианита; 4 – зоны силлиманита.

Для фации зеленых сланцев характерен ограниченный набор главных минералов и парагенезисов. Альбит и мусковит зеленосланцевой фации являются, как правило, единственными концентраторами Na и K. Главные минералы фации – хлориты, белые слюды, эпидот – имеют широкий интервал изменения состава, по сравнению с другими фациями, и изучение составов сосуществующих минералов заметно зависит от фациальных условий, определяя важность изучения их составов. Из полевых шпатов в фации зеленых сланцев широко распространен только альбит, остальные полевые шпаты в этой фации метаморфизма неустойчивы. Из минералов группы эпидота наиболее распространен ряд клиноцоизит-эпидота.

Эпидоты близки к своей теоретической формуле и в них колеблется только железистость и содержание  $H_2O$ . На изучаемой площади эпидоты относятся к маложелезистым эпидотам-клиноцоизитам, характерным для метабазальтов без кварца (f до 25 %), а также по своему составу приближаются к эпидотам из основных пород с кварцем (метадиабазам) с железистостью до 8 % (Великославинский Д.А. 1972, «Метаморфизм и метасоматизм» под ред. Жарикова А.В., 1998) (рис. 3).

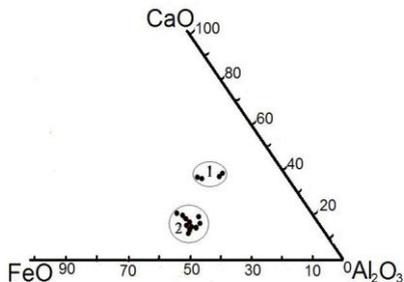


Рисунок 3. Химический состав эпидотов: 1 – эпидоты из метадиабазов с кварцем; 2 – эпидот-клиноцоизиты из метабазальтов без кварца.

Актинолит является единственным широко распространенным амфиболом в фации зеленых сланцев. Актинолит характеризуется низкими содержаниями Na и Al, его состав близок к теоретическому.

Хлориты являются наиболее распространенными минералами пород зеленосланцевой фации метаморфизма. Средний состав хлоритов из metabазитов близок к составу прохлоритов. Хлориты же из метапелитов отличаются более высоким содержанием алюминия и большей железистостью. Классификация хлоритов по Хею (Дир У. А., 1966) позволила выявить 3 химические разновидности минерала по соотношению кремния и железистости: это рипидолит, брунсвитгит и диабантит (рис.4). Наиболее широко распространены брунсвитгиты (67 %), в меньшем количестве отмечаются рипидолиты (22 %) и диабантиты (11 %).

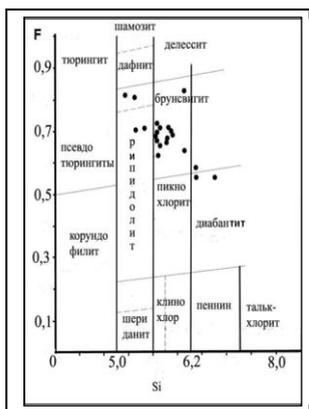


Рисунок 4. Химический состав хлоритов Харгинского рудного поля

Сопоставление составов хлорита с уровнем золотоносности пород, в которых они развиты, показало, что хлоритсодержащие породы характеризуются низким содержанием золота ( $Au < 0,20$ ). Брунсвитгиты и рипидолиты наиболее часто отмечаются во внешней зоне метасоматических тел в гранатовых и биотитовых разновидностях, контактирующих с metabазальтами. Диабантиты также наблюдаются во внешней зоне метасоматических тел в актинолит-эпидот-хлорит-кальцитовых разновидностях метасоматитов вблизи зон интенсивного катаклаза, лимонитизации.

Второе защищаемое положение. **В последовательно формирующихся золотоносных альбититах и аргиллизитах выявлена минеральная зональность. При телескопировании во внешней и промежуточной зонах этих метасоматитов наблюдается сходство минерального состава. Внутренняя зона альбититов сложена преимущественно альбитом, а аргиллизитов – диккитом, каолинитом и кварцем.**

Наиболее широко развитые метасоматиты Харгинского рудного поля представлены линзовидными телами альбитизированных, карбонатизированных в различной степени пород, мощностью первые метры, реже – десятки метров и протяженностью до первых сотен метров. Залегают согласно сланцеватости пород и прослежены на глубину и по падению до первых сотен метров. Среди альбититов установлены более поздние аргиллизиты. Метасоматиты насыщены жилами, прожилками, гнездами кварцевого, кварц-карбонатного и кварц-альбитового состава и содержат убогую сульфидную минерализацию, с которой связана золоторудная минерализация.

Становление метасоматитов связано с проявлением тектонической активизации и происходило в следующей последовательности: 1. Формирование, или подновление глубинных разломов с развитием в оперяющих структурах зон катаклаза при сочетании хрупких и пластических деформаций с образованием складчато-разрывных дислокаций; 2. Образование в рудоносных разломных структурах предрудных силлов, даек метабазалтов; 3. Развитие зон приразломного метасоматоза, сопровождающегося образованием редкометальной, Nb-содержащей минерализации; 4. Образование аргиллизитов связано с воздействием слабокислых растворов на породы в области развития крутопадающей трещиноватости.

**Альбититы** располагаются в кровле афанасьевской свиты. Геологические границы с вмещающими породами постепенные. Мощность колеблется от 3-8 до 55 м, простираение – до первых сотен метров. Наиболее широко альбитизация проявлена в центральной части рудного поля, в меньшей степени – в западной и восточной частях, отмечается как на поверхности, так и на глубине.

Альбититы характеризуются зональным строением. Нами выделены внешняя, промежуточная и внутренняя зоны. Метасоматическая колонка альбититов приведена в таблице 1.

Главной чертой химизма альбитизации является устойчивое возрастание содержания натрия при сопряженном уменьшении содержания калия и кремния. Если вынос кремния, сопровождающийся уменьшением содержания кварца и возрастанием альбита, в метасоматитах может прекратиться на любой стадии, то вынос калия с замещением микроклина альбитом в полнопроявленных альбититах осуществляется до конца. В потенциально рудоносных альбититах содержание окиси калия находится на уровне лишь сотых долей процента и обусловлено наличием слюд. Главным летучим компонентом является  $\text{CO}_2$ , который в составе карбоната присутствует в альбититах с максимум содержания в рудных. Вторым по значимости летучим компонентом является сера.

Таблица 1. Метасоматическая колонка альбититов.

<i>Исходная порода</i>	<i>Внешняя</i>	<i>Промежуточная</i>	<i>Внутренняя</i>
<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<b>Главные минералы</b>			
Кварц***	кварц	мусковит	анкерит
альбит I***	альбит I	анкерит	альбит II
Кальцит***	мусковит	кварц	мусковит
Брунсвит***	кальцит	альбит I	
Актинолит**			
Эпидот**			
Биотит*			
Мусковит*			
<b>Второстепенные минералы</b>			
Гранат*	микроклин	диабантит	кварц
Стильпомелан**	эпидот	кальцит	
Титанавгит**	актинолит	альбит II	
Керсугит**	диабантит		
Рипидолит***			
<b>Акцессорные минералы</b>			
Брукит**	рутил	рутил	ильменорутит
Анаказ*	анатаз	апатит	монацит
Рутит***	турмалин	турмалин	колумбит
Апатит**	углер. в-во	апатит	
Углер. в-во*	апатит		

**Примечание.** Минералы: \* – метапелитов; \*\* – метабазитов; \*\*\* метапелитов и метабазитов.

**Аргиллизиты и аргиллизированные породы** фрагментарно появляются в участках развития мусковит-анкерит-альбитовых и альбитовых метасоматитов. Они образуют лентообразные тела мощностью от первых десятков сантиметров до первых метров, приурочены к крутопадающим дайкам андезитового состава и отмечаются в участках повышенного катаклаза. Контакты с вмещающими породами постепенные. Наиболее широко аргиллизация проявлена в центральной части рудного поля, но отмечается также в западной и восточной частях, как на поверхности, так и на глубине. Для аргиллизированных пород характерна более темная окраска за счет гидроокислов железа (отчетливо выражена на поверхности), наличие повышенной трещиноватости, большее количество сульфидов поздних генераций (пирит, пирротин, арсенопирит). По результатам рентгеноструктурного анализа глинистые минералы представлены диккитом и каолинитом. Метасоматическая колонка аргиллизитов приведена в таблице 2.

Таблица 2. Метасоматическая колонка аргиллизитов.

<i>Зоны метасоматитов и их номера</i>			
<i>Исходная порода</i>	<i>Внешняя</i>	<i>Промежуточная</i>	<i>Внутренняя</i>
<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Главные минералы</i>			
Альбит II *	Альбит II	Кварц	Диккит
Анкерит*	Анкерит	Альбит II	Каолинит
Мусковит*	Мусковит	Жильбергит	Кварц
Кальцит**		Анкерит	
Хлорит**			
<i>Второстепенные минералы</i>			
Кварц***	Кварц	Кальцит	Альбит II
Андезин**	Кальцит	Диккит	Жильбергит
Актинолит**	Хлорит	Мусковит	Гидрослюда
диабантит			
<i>Акцессорные минералы</i>			
Рутил**	Ильменорутил*	Ильменорутил*	Ильменорутил*
Ильменорутил*	Монацит*	Монацит*	Монацит*
Монацит*	Колумбит*	Колумбит*	Колумбит*
Колумбит*			

*Примечание.* Минералы: \* – альбититов; \*\* – андезитов; \*\*\* – альбититов и андезитов.

Химизм аргиллизации, напротив, характеризуется высокой активностью калия и кремния, выносом щелочей и щелочноземельных металлов, в результате чего происходит замещение исходных пород глинистыми минералами.

Третье защищаемое положение. *В рудах выделено 4 основных типа сульфидных минеральных ассоциаций, образовавшихся в заключительные стадии метасоматоза. Ранняя ассоциация пирит-пирротиновой стадии образовалась в результате метаморфогенно-метасоматических изменений пород. Пирит-пирротин-арсенопиритовая и пирит-магнетитовая стадии связаны с формированием альбититов, а арсенопиритовая стадия – с аргиллизитами. Наиболее золотоносными являются участки рудных тел с совмещением ранних и поздних минеральных ассоциаций.*

Минералообразование включает эндогенный и экзогенный этапы. Внутри эндогенного этапа выделяется четыре стадии, названные по преобладающим минералам соответствующих ассоциаций: пирит-пирротиновая (П+Пр±Хп), пирит-пирротин-арсенопиритовая (П+Пр±Ар±Хп), пирит-магнетитовая (М+П±Хп±Пр) и арсенопиритовая

(Ar±П±Хп) (табл. 3). Стадия прерудных изменений вмещающей толщи проявилась во внедрение пластообразных тел метабазальтов в сланцы афанасьевской свиты, сопровождающиеся складчатостью и образованием зон интенсивного расланцевания пород.

Таблица3. Парагенетическая схема гидротермально-метасоматического минералообразования.

Этапы	Эндогенный									
	стадия прерудных изм.		пирит-пирротиновая	пирит-пирротин-арс.		пирит-магн.	арсенопирит.	кварц-карбон	экогенный	
Кварц	I	III		III				IV		
Альбит	I	II		III						
Биотит										
Мусковит			I	II	III					
Хлорит										
Карбонат				Ан			Кц	Кц		
Рутил										
Пирит	I	II		III	IV		V			
Пирротин	I	II		III			IV			
Арсенопирит				I			II			
Магнетит	II				II					
Сфалерит										
Галенит										
Халькопирит			I	II	III					
Ильменорутил										
Колумбит										
Стильпномелан										
Эпидот										
Актинолит										
Турмалин										
Сфен										
Анагас										
Брукит										
Циркон										
Монацит										
Апатит										
Марказит, мельниковит										
Гетит, гидрогетит										
Скородит										
Дикзит										
Каолинит										
Золото сам.			I	II	III		IV			
Железо сам.										
Ковелин										
Борнит										

Складчатость, расланцевание, образование ослабленных зон, прогнессивный метаморфизм

Развитие трещин кливажа течения в зоне смятия, дробление, катаклаз

Длительный перерыв, дробление ранее отложенного жильного материала

Дробление, катаклаз, перекристаллизация

главные    второстепенные    вторичные    акцессорные

В *пирит-пирротиновую* стадию наибольшим развитием пользуются оба эти минерала, которые территориально приурочены к сланцам. Они относятся к ранним сульфидным минералам гидротермально-метасоматического процесса, возможно отложение их частично происходило на заключительной стадии метаморфизма, о чем свидетельствует морфология проявления минералов. Оба эти минерала наблюдаются в тесном сростании с ранним рутилом. Некоторые кристаллы и агрегаты пирита содержат включения кварца, слюды, рутила, что свидетельствует о метасоматической природе их образования. Как пирит, так и пирротин подвергнут замещениям марказитом и мельниковитом. Изучение взаимоотношений минералов пирит-пирротиновой стадии позволяет отнести рутил к реликтовым минералам метаморфического генезиса, остальные – к ранним высокотемпературным метаморфогенно-метасоматическим образованиям.

Началу рудной, *пирит-пирротин-арсенопиритовой* стадии предшествовали мощные тектонические подвижки, приведшие к образованию серии рудоподводящих трещин, выполненных новой рудной минеральной ассоциацией с кварцем, альбитом, карбонатом. Эта рудная стадия характеризуется максимальным развитием пирита-II, пирротина-II, марказита, мельниковита и подчиненным выделением к концу стадии арсенопирита-I, сфалерита и галенита. К этой же стадии приурочено выделение золота, ассоциирующего с сульфидами, кварцем, альбитом, карбонатом, ильменорутилом, хлоритом. Отличительной чертой этой стадии от пирит-пирротиновой, является высокая степень идиоморфизма и большие размеры зерен рудных минералов, измеряемые первыми миллиметрами.

*Пирит-магнетитовая* (рудная) стадия протекала в близповерхностных условиях при усилении окислительной обстановки в системе. Для нее характерно присутствие магнетита-II, пирита-III ксеноморфной, частично ограниченной формы. Отличительной чертой этой стадии является отсутствие пирротина. Магнетит распределяется параллельно к сланцеватости, в то время как пирит образует как коротко прожилковые выделения, субпараллельные сланцеватости, так и развивается под углом к сланцеватости. Низкопробное золото могло образоваться в близповерхностных условиях в пирит-магнетитовую стадию.

Для пирит-пирротин-арсенопиритовой и пирит-магнетитовой стадии характерно присутствие ильменорутила, наибольшее количество которого отмечается в участках с высокими содержаниями золота. Золото наблюдается в виде включений – сростаний с арсенопиритом-I, пиритом-II, пирротин-II, в виде свободных выделений в кварце, в кварц-слюдяной ткани сланцев, сростаний со слюдой, кварцем, альбитом.

*Арсенопиритовая* стадия фиксирует затухание гидротермального процесса. Ей предшествовало интенсивное дробление, приведшее к возникновению зон трещиноватости, послуживших главными путями для продвижения растворов. В результате появились зоны нитевидных секущих

разноориентированных кварц-карбонатных прожилков с карбонатом, кварцем и характерной мышьяковой минерализацией. Кроме арсенопирита, халькопирита, пирита в эту стадию происходит перекристаллизация, переотложение и укрупнение золота. По зонам интенсивного катаклаза отмечается гетит и гидрогетит, развивающиеся по пириту и марказиту.

*Кварц-карбонатная стадия* жильного минералообразования, характеризуется формированием нитевидных, многочисленных прожилков, секущих сланцевую толщу рудного поля. Они широко распространены в метасоматитах золотоносной минерализованной зоны.

*Экзогенный этап образования* в пределах рудного поля проявился очень слабо. Окисление, выветривание и разложение первичных минералов зафиксировано до глубины первых десятков м (до 10-15 м) и выразилось, прежде всего, в развитии гидроокислов железа.

Арсенопирит в приповерхностных зонах окисляется и разлагается до появления скородита с гидроокислами железа. Пирротин, пирит часто замещаются марказитом, мельниковитом, имеющим колломорфные, концентрически-зональные формы проявления. Мельниковит при этом обычно превращается в бурую рыхлую массу, представляющую собой смесь гидроокислов железа с нерудными минералами.

Судя по изучению руд при описании горных выработок, оптических исследований шлифов, аншлифов и протолочных проб месторождения установлено, что золото присутствует в широком интервале глубин от 0 до 256 м как в свободном виде, так и в сростаниях с сульфидами, кварцем, альбитом. Золотоносными сульфидами являются арсенопирит-I и -II, пирротин-II, пирит-II, магнетит-II, выделяющиеся в главные рудные пирит-пирротин-арсенопиритовую, арсенопиритовую и магнетитовую стадии. В свободном виде золото встречается чаще, распределяясь среди кварца, слюдяных новообразованных прожилках, в кварце и в кварц-сланцевой основной массе сланцев. Морфология выделений очень разнообразна. Это растянутые прерывистые прожилки, агрегативные скопления и отдельные включения изометричной, неправильной, каплевидной, проволоочной формы.

Золото наблюдается в сростании с сульфидами различных размеров, начиная от тысячных долей до первых миллиметров. Сростания отмечаются как по периферии, так и в центральных частях выделений сульфидов, а также по трещинкам, в порах и межзерновых промежутках арсенопирита-II. Формы сростков золота изометричные, овальные, неправильные. Цвет золота меняется от ярко-желтого до темно-желтого, серо-желтого. Серый оттенок появляется за счет присутствия пленок сульфидов. В основном золото ярко-желтого цвета. На основании ассоциаций золота с рудными и нерудными минералами можно предположить, что выделение его происходило, главным образом, в пирит-пирротин-арсенопиритовую и пирит-магнетитовую стадии. Отложение золота из гидротермального раствора продолжалось также и в заключительную, арсенопиритовую стадию, где оно наблюдается в сростании

с арсенопиритом-II и кварцем, развивающимся по секущим сланцеватость жилам и прожилкам. В результате исследований размерности золотин, ассоциирующих с разновозрастными минералами можно предположить, что по мере развития стадийного процесса минералообразования частицы золота увеличивались в размерах от ранних стадий к поздним. Частицы золота в ассоциации с арсенопиритом и кварцем поздних генераций характеризуются повышенной частотой встречаемости наиболее крупных золотин, но меньшим распространением в пределах рудной зоны.

Важной характеристикой золота является пробность ( $Au/(Au+Ag+\text{элементы примеси})$ ), которая на изучаемой территории изменяется от 827,40 до 912,41 ‰. Распределение классов пробности, рассчитанных по формуле  $(n_{\max}-n_{\min})/(1+4lgN)$ , где  $n_{\max}$  – максимальная проба (912),  $n_{\min}$  – минимальная проба (827), N – количество анализов (210), отражено на рис. 6.

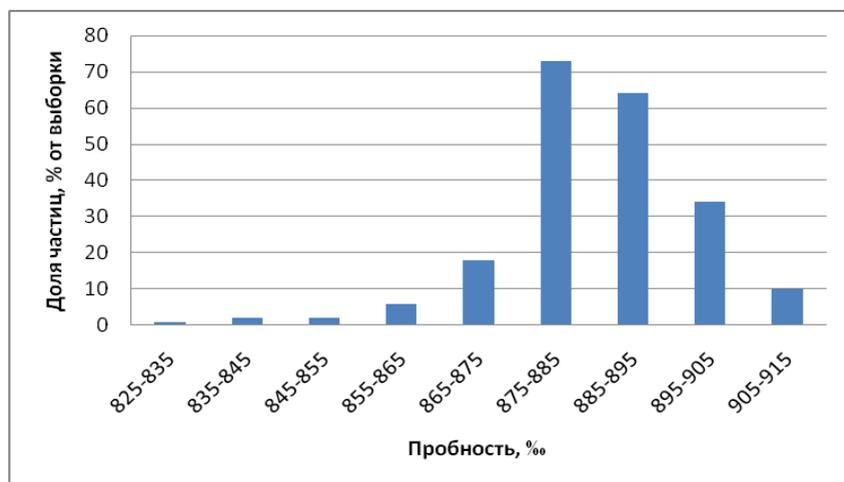


Рисунок 6. Распределение частиц золота по классам пробности (n=210).

Пробность золота рассматривают как функцию геологических условий образования (P, T, X, pH, Eh, региональных и локальных особенностей рудообразования). На гистограмме отмечается один хорошо выраженный «пик», представленный классами пробности 875-885 и 885-895 ‰, характерный для золота продуктивных пирит-пирротин-арсенопиритовой и арсенопиритовой ассоциаций. В меньшей степени выражены пики пробности 865-875, 895-905 ‰, характерные для золота пирит-пирротин-арсенопиритовой (начало стадии – 895-905 – ранняя генерация) и арсенопиритовой (865-875 – завершение стадии) ассоциаций. Реже встречается золото с пробностью 845-855 ‰, характерное, вероятнее всего, для пирит-магнетитовой ассоциации. Золото пробностью 825-835, 835-845

%, предположительно, связано с ранними сульфидами пирит-пирротиновой стадии, а также с аргиллизитами. Высокопробное золото (905-915 ‰) также могло образоваться в результате аргиллизации, которая способствовала перекристаллизации и очищению ранних генераций золота от примесей. Согласно существующей классификации (Петровская Н.В. 1976), самородное золото Харгинского рудного поля соответствует золоту глубинных месторождений. Средняя пробность самородного золота по 210 анализам составляет 885,22 ‰. Высокопробное золото отмечается в центральной части участка, как на поверхности, так и на глубине. Низкопробное золото встречается редко и наблюдается в центральной и восточной части рудного поля. По данным предшественников на Харгинском месторождении отмечается две генерации золота – ранняя, представленная низкопробным золотом (636‰) и связанная с ранними сульфидами, а также поздняя генерация, ассоциирующая с поздними сульфидами и представленная высокопробным золотом (800-990 ‰). Россыпное золото Харгинского рудного поля характеризуется в основном пробностью 892 ‰ и набором тех же примесей, что и рудное золото Харгинского (среднее по месторождению 890 ‰) и Албынского (среднее по месторождению 880 ‰) месторождений. Исходя из анализа состава золота и сравнивая его с опубликованными данными по рудному и россыпному золоту изучаемого района, можно сделать вывод, что формирование его происходило на больших глубинах. Пробность золота, набор примесей в золоте из россыпей и коренном золоте указывает на единый источник формирования.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Формирование золоторудной минерализации Харгинского рудного поля имело длительную и сложную историю становления в процессе гидротермально-метасоматических преобразований, а руды характеризуются одновременными минеральными ассоциациями и неравномерным характером распределения золота. На фоне тектонических преобразований в рудном поле, большую роль в становлении золоторудных тел сыграли метаморфогенно-гидротермальные процессы, в результате которых произошло изменение состава первичных пород и формирование новых минеральных ассоциаций.

Установлены две разновидности метасоматитов – альбититы и аргиллизиты, характеризующиеся зональным строением. Выделены внешняя, промежуточная и внутренняя зоны метасоматических тел. Внешняя зона метасоматических тел характеризуется слабо проявленной альбитизацией на фоне процессов перекристаллизации, без существенного изменения химического состава пород. Типоморфным признаком промежуточной зоны альбититов является отчетливо выраженная тенденция замещения кварца альбитом. Возрастает количество лейстовидного альбита,

что свидетельствует о нарастании интенсивности натриевой щелочности. Внутренняя зона метасоматических тел, или собственно рудных метасоматитов представлены мусковит-анкерит-альбитовыми, альбитовыми разновидностями, а также наложенными на них аргиллизитами. Для них характерно отсутствие реликтовых минералов исходных пород, а количество новообразованного лейстовидного альбита в альбититах и глинистых минералов в аргиллизитах достигает 50-80 %. В аргиллизитах часто во внутренней зоне наблюдается кварцевое ядро.

В образовании руд отмечается два этапа формирования – эндогенный и экзогенный. Внутри эндогенного этапа выделяется четыре стадии, названные по преобладающим минералам соответствующих ассоциаций: пирит-пирротиновая ( $\text{П}+\text{Пр}\pm\text{Хп}$ ), пирит-пирротин-арсенопиритовая ( $\text{П}+\text{Пр}+\text{Ар}\pm\text{Хп}\pm\text{Гл}\pm\text{Сф}$ ), пирит-магнетитовая ( $\text{М}+\text{П}\pm\text{Хп}\pm\text{Пр}$ ), арсенопиритовая ( $\text{Ар}\pm\text{П}\pm\text{Хп}$ ). Продуктивными на обнаружение золота ассоциациями являются пирит-пирротин-арсенопиритовая, пирит-магнетитовая и арсенопиритовая. Экзогенный этап в пределах рудного поля проявился очень слабо. Окисление, выветривание и разложение первичных минералов зафиксировано до глубины первых десятков метров и выразилось, прежде всего, в развитии гидроокислов железа.

Выделение золота происходило, главным образом, в пирит-пирротин-арсенопиритовую стадию, продолжалось в пирит-магнетитовую и также в заключительную арсенопиритовую стадии, где золото наблюдается в сростании с арсенопиритом-II и кварцем, развивающимся по секущим сланцеватость жилам и прожилкам. Золото в стадийном процессе рудообразования, вероятно, подвергалось рекристаллизации и очищению от примесей и преимущественно имеет высокую пробу. Рудное и россыпное золото в изучаемом районе имеет сходный химический состав.

Протолитом сланцев афанасьевской свиты являлись метапелиты, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации. В метабазах установлены две разновидности эпидотов: а) маложелезистые эпидоты – клиноцоизиты, встречающиеся в безкварцевых метабазах ( $f$  до 25 %); б) эпидоты из основных пород с кварцем с железистостью до 8 %. Выявлено 3 химические разновидности хлорита по соотношению кремния и железистости: рипидолит, брунсвит и диабантит. Все разновидности хлоритов развиты в породах с низкими содержаниями золота и слагают внешнюю зону метасоматических тел. Брунсвиты и рипидолиты отмечаются в гранатовых и биотитовых разновидностях, а диабантиты – в актинолит-эпидот-хлорит-кальцитовых разновидностях пород.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях аннотированных ВАК РФ:

1. Серебрянская, Т.С. Особенности гидротермально-метасоматических образований и химического состава золота Харгинского рудного поля. / Т.С. Серебрянская, Е.Г. Ожогина, Э.И. Ковалевский // Разведка и охрана недр. №8. 2010. – С. 9-14.

В прочих изданиях:

2. Серебрянская Т.С. Реконструкция состава исходных пород и условий метаморфизма по породообразующим гранатам / Л.Г. Есикова, **Т.С. Серебрянская** // Совершенствование методов поисков и разведки технологии добычи и переработки руд с целью улучшения комплексного освоения недр и охраны окружающей среды: сб. докл. краевой студ. конф. – Красноярск. КГУ, 1988. – С.89

3. Серебрянская Т.С. Самородное золото Сибири / И.А. Сулима, И.А. Шагиахметова, **Т.С. Серебрянская** // Совершенствование методов поисков и разведки технологии добычи и переработки руд с целью улучшения комплексного освоения недр и охраны окружающей среды: сб. докл. краевой студ. конф. – Красноярск. КГУ, 1988. – С. 23-24.

4. Серебрянская Т.С. Соотношение медного и золотого оруденения на одном из рудопоявлений Чукотки. / **Т.С. Серебрянская**// Совершенствование методов поисков и разведки технологии добычи и переработки руд с целью улучшения комплексного освоения недр и охраны окружающей среды: сб. докл. краевой студ. конф. – Красноярск. КГУ, 1988. – С. 25.

5. Серебрянская, Т.С. Концентрирование и рассеивание золота и серебра в системах, обогащенных кварцем. / **Т. С. Серебрянская** // Будущее Амурской науки: тр. рег. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Благовещенск. 2002. – С. 86-89.

6. Серебрянская, Т.С. Извлечение золота при помощи природных добавок / **Т.С. Серебрянская** // Природные ресурсы северных территорий: проблемы оценки, использования и воспроизводства: материалы Всерос. науч. конф. – Архангельск. 2002. – С. 171-173.

7. Серебрянская, Т.С. Использование экологически чистых добавок для наиболее полного извлечения благородных металлов / **Т.С. Серебрянская** // Химия: фундаментальные и прикладные исследования, образование: сб. тр. Всерос. симпозиума. – Хабаровск. Дальнаука 2002. Т. 2. – С.68-69.

8. Серебрянская, Т.С. Способ извлечения золота из золотосодержащих концентратов при помощи кварца / **Т.С. Серебрянская** //

Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. тр. – Красноярск. 2003. - Вып. 1. – С. 178-181.

9. Серебрянская, Т.С. Извлечение благородных металлов из труднообогатимых концентратов с использованием природного кварца / **Т.С. Серебрянская** // XXIII Рос. школа по проблемам и науки и технологий: сб. докл. – Миасс. МСНТ. 2003. – С. 7.

10. Серебрянская, Т.С. Метасоматиты Харгинского рудного поля как комплексное минеральное сырье. / **Т.С. Серебрянская**, Э.И. Ковалевский // Проблемы безопасности жизнедеятельности в техносфере: сб. докл. Всерос. науч. конф. – Благовещенск. АМГУ. 2010.– С. 77-79.

11. Серебрянская, Т.С. Зональность золотоносных метасоматитов Харгинского рудного поля / **Т.С. Серебрянская**, Э.И. Ковалевский // Наука и современность: сб. материалов V Межд. науч.- практич. конф. – Новосибирск. 2010. – С.69-73.

12. Серебрянская, Т.С. Термодинамические условия формирования золоторудной минерализации Харгинского рудного поля. / **Т.С. Серебрянская**, Э.И. Ковалевский // Новые и нетрадиционные типы месторождений полезных ископаемых Прибайкалья и Забайкалья: сб. тр. Всерос. науч.- практич. конф. – Улан-Удэ. 2010. – С. 158-161.

13. Серебрянская Т.С. Последовательность образования руд Харгинского рудного поля / **Т.С. Серебрянская**, Э.И. Ковалевский // Наука и современность: сб. материалов V Межд. науч.-практич. конф. – Новосибирск. 2010. – С.74-78.