

*На правах рукописи*

**Лотина Анна Александровна**

**ЗОЛОТО-ВИСМУТ-ТЕЛЛУРОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В КОРЕННЫХ  
ИСТОЧНИКАХ И РОССЫПЯХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОЛОТИСТОГО  
(ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

Специальность 25.00.11 - геология, поиски и разведка  
твердых полезных ископаемых, минерагения

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток - 2011

Диссертационная работа выполнена в Дальневосточном геологическом институте  
Дальневосточного отделения Российской Академии наук

**Научный руководитель:** академик РАН Ханчук Александр Иванович

**Официальные оппоненты:** член-корреспондент РАН, профессор  
**Горячев Николай Анатольевич**  
(СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан)

кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент  
**Вах Александр Станиславович**  
(ДВФУ, г. Владивосток)

**Ведущая организация:** Институт геологии и природопользования  
ДВО РАН, г. Благовещенск

Защита диссертации состоится «27» октября в 10 часов на заседании  
диссертационного совета Д-005.006.01 в Дальневосточном геологическом  
институте ДВО РАН по адресу: 690022, г. Владивосток, просп. 100 лет  
Владивостоку, д. 159, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН.

Тел.: (4232) 318-750  
Факс: (4232) 317-847  
E-mail: office@fegi.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке  
ДВО РАН.

Автореферат разослан «1» сентября 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук



Б.И. Семеняк

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследований.** По степени экономической значимости золото входит в лидирующую группу металлов. Наиболее рентабельной является добыча золота из россыпей. Однако, в последние десятилетия из-за отработки большинства россыпных месторождений все большее внимание уделяется прогнозу и поискам коренных месторождений этого металла.

Поэтому приоритетными при изучении золотосодержащих россыпей становятся геохимическое и минералогическое направления исследований, которые могут дать сведения о вещественных и генетических особенностях коренных источников питания россыпей.

Одним из перспективных районов Дальневосточного региона России на россыпные и коренные золоторудные месторождения, в том числе с золото-висмут-теллуровой минерализацией, является Право-Соолийский рудно-россыпной узел (Лазовский район, Хабаровский край), где в конце 90-х годов обнаружены промышленные россыпи золота (месторождение Болотистое). Этот объект является интересным во многих отношениях. По данным старателей ООО «РОС–ДВ» в лучшие годы за сезон в среднем добывалось от 500 до 900 кг золота.

Месторождение Болотистое характеризуется широким распространением слабо изученной золото-висмут-теллуровой минерализации в коренном залегании и находки обломков таких руд в россыпях. В настоящее время о месторождении Болотистое существуют немногочисленные данные по геолого-структурным особенностям, общей минералогии и характеристике рудного и россыпного самородного золота. Эти материалы частично освещены в работах В.М. Степаненко и др. (2001), В.В. Иванова и др. (2002, 2007, 2009, 2011) и Л.Б. Сушкина (2007, 2008, 2010). Первые сведения о характеристике золотой и редкометалльной минерализации этого объекта отражены в работе В.В. Иванова с соавторами, где непосредственное участие принимал и автор (Иванов и др., 2002).

**Цель и задачи исследования.** Основная цель работы заключалась в выяснении особенностей генезиса золото-висмут-теллуровой минерализации руд и россыпей месторождения Болотистого.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) охарактеризовать геологические условия локализации золотого оруденения и россыпей (на основе литературных и фондовых данных);
- 2) провести минералого-геохимические исследования золотой и редкометалльной минерализации коренного оруденения и россыпей, направленное на выделение типоморфных её особенностей;
- 3) установить типоморфные признаки рудного и россыпного самородного золота, минералов-спутников позволяющие реконструировать процесс россыпеобразования.

**Фактический материал.** В основу предлагаемой работы положены результаты полевых и лабораторных исследований золоторудной минерализации штокверкового тела и россыпей месторождения Болотистого (Северо-Западный Сихотэ-Алинь).

При подготовке диссертационной работы были использованы литературные источники по золоторудной тематике, а также фондовые материалы, касающиеся Болотистого (И.А. Плотноков, 1972 г.; В.А. Дымович, 1979 г.; В.Ф. Погадаев, В.А. Дымович, 1981 г.; Степаненко и др., 2001; Сушкин, 2007 и т.д.),

Криничного, Аскольдинского, Путятинского и Многовершинного месторождений (Иванов и др., 1984, 2002, 2007, 2009; Фатьянов, 1989).

Ведущими методами полевых исследований являлись минералогическое картирование, опробование и поисковые маршруты. Петрографические, геохимические и минералогические исследования образцов и проб проведены с применением современного оборудования, имеющегося в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Изучение каменного и шлихового материала производилось с помощью поляризационных микроскопов для проходящего и отраженного света, методами рентгенографии, ИК–спектроскопии, растровой электронной микроскопии. Использовались также атомно-абсорбционный, микрорентгеноспектральный, эмиссионный спектральный, рентгенофлуоресцентный и изотопный методы.

В процессе выполнения работы было изготовлено и изучено с помощью поляризационных микроскопов около 170 шлифов и 70 аншлифов пород и руд. Из проб коренных руд и шлихового материала россыпей извлечено около 500 золотин, которые были изучены автором под микроскопом и на рентгеноспектральном микроанализаторе. С помощью рентгеноспектрального микроанализатора получено около 200 анализов прочих минералов, а также порядка 300 фотографий. Обработка результатов аналитических исследований и построение диаграмм и гистограмм проводились с использованием компьютерных программ.

Автор принимал непосредственное участие на всех этапах выполнения данной работы: от сбора геологического материала до пробоподготовки и последующих им аналитических исследований.

**Научная новизна работы.** Впервые проведено комплексное сравнение типоморфных особенностей рудного и россыпного золота, и показана унаследованность его основных характеристик в россыпях, что указывает на генетическую связь россыпей с их коренным источником. На основе типоморфных особенностей руд, рудного и россыпного золота установлено, что в пределах изученной территории золотое оруденение принадлежит к двум разным минералого-геохимическим типам (кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый и кварц-арсенидно-сульфидный). Установлены минералого-геохимические индикаторные особенности эндогенных источников питания россыпей.

### Защищаемые положения:

1. Коренное золотое оруденение месторождения Болотистого представлено двумя минеральными комплексами в штокверковом теле, контролирующимся многофазной эоценовой интрузией габбро-диоритового состава. Кварц-арсенидно-сульфидный комплекс размещен в эоценовой интрузии габбро-диоритового состава. Кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый комплекс слагает периферическую часть штокверка в нижнемеловых околотрузивных терригенных породах. Оруденение месторождения Болотистого относится к среднеглубинной золото-кварцевой формации.

2. Типоморфные особенности самородного золота из штокверкового тела (размерность, морфология, проба, набор и уровень содержания элементов-примесей, а также минеральный состав сростаний) сохраняются в россыпях месторождения Болотистого и являются показателями генетической связи.

3. Источником для формирования россыпей месторождения Болотистого является кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый

минеральный комплекс широко распространенный среди нижнемеловых терригенных пород в верхней надинтрузивной части золотоносного штокверка.

**Практическая значимость** заключается в том, что доказана возможность использования типоморфных признаков россыпного золота и минералов-спутников для выявления типа источников питания россыпей и оценки условий их образования. Полученные данные представляют практический интерес при составлении прогнозно-металлогенических карт. Результаты детальных минералогических исследований можно рекомендовать к использованию для совершенствования технологии извлечения благородных металлов из коренных руд и россыпей.

**Апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 17 работ. Полученные материалы докладывались на научной конференции, посвященной 90-летию академика Х.М. Абдуллаева (г. Ташкент, 2002), XX Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 2003), на семи научных конференциях молодых ученых (г. Сыктывкар, 2003-2010), международной научной конференции «Федоровская сессия-2006» (г. Санкт-Петербург, 2006), VIII международной научной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (г. Москва, 2007), XIV чтении памяти А.Н. Заварицкого (г. Екатеринбург, 2009), молодежных конференциях «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России» (г. Владивосток, 2006, 2008, 2010),

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Работа изложена на 124 страницах, включая 16 таблиц и 34 рисунка. Список литературы включает 110 наименований.

Автор выражает свою искреннюю признательность научному руководителю академику, директору ДВГИ ДВО РАН А.И. Ханчуку и заведующему лабораторией микро- и нано исследований ДВГИ к.г.-м.н. В.В. Иванову за помощь и поддержку при выполнении данной работы, а также за предоставление фактического материала.

Автор благодарит ст.н.с. А.А. Вржосека, д.г.-м.н. В.И. Гвоздева, д.г.-м.н. В.Г. Гоневчука, д.г.-м.н. В.Т. Казаченко, к.г.-м.н. П.Г. Коростелева, д.г.-м.н. Ю.А. Мартынова, к.г.-м.н. П.П. Неволлина, к.г.-м.н. В.К. Попова, к.г.-м.н. Б.И. Семеняка, к.г.-м.н. И.И. Фатьянова и профессора С.А. Щекун за ценные советы и обсуждение этой работы на разных стадиях ее подготовки. Особая благодарность выражается геологам старательской артели «РОС-ДВ» С.В. Леснову и А.И. Замбржицкому за всемерное содействие в проведении полевых работ и предоставленные материалы.

Автор признателен сотрудникам Аналитического центра ДВО РАН – В.М. Авченко, Л.И. Азаровой, Т.Б. Афанасьевой, Т.К. Бабовой, к.г.-м.н. Н.Н. Барининой, И.В. Боровик, А.С. Букатину, С.Ф. Васюкевич, к.г.-м.н. Т.А. Веливецкой, О.Ф. Гурфинк, В.Ф. Заниной, Н.В. Зарубиной, Н.И. Екимовой, к.г.-м.н. А.В. Игнатьеву, к.г.-м.н. А.А. Карабцову, к.г.-м.н. В.И. Киселеву Л.А. Козловой, Л.Г. Колесовой, Н.П. Коноваловой, к.г.-м.н. В.В. Кононову, Г.Б. Молчановой, к.г.-м.н. Г.А. Нарнову, В.И. Сеченской, Л.В. Симоконов и Г.С. Ягорлицкой за помощь в выполнении аналитических исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке молодежного гранта ДВО РАН (06-III-B-08-362, 11-III-B-08-186).

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Болотистое месторождение локализовано в пределах Право-Соолийского рудно-россыпного узла, расположенного на юге Сооли-Тормасинского рудного района. Площадь Право-Соолийского рудно-россыпного узла делится Центральным Сихотэ-Алинским разломом на две части, одна из которых (западная) сложена осадочными и вулканогенно-осадочными породами Журавлево-Амурского, а вторая (восточная) – осадочными и вулканическими породами Самаркинского террейнов.

Журавлево-Амурский террейн является фрагментом турбидитовой формации, сформировавшейся в условиях окраинного синсдвигового бассейна (Голозубов, Ханчук и др., 2006). Этот террейн состоит, главным образом, из аркозовых песчаников и алевролитов раннемелового (берриас-альб) возраста (Голозубов и др., 1992; Голозубов, Ханчук, 1995), нередко содержащих примесь вулканогенного материала. Раннемеловые образования Журавлево-Амурского террейна смяты в сложную систему дислоцированных складок и фрагментированы в процессе левосторонних перемещений, происходивших в позднем альбе по серии новообразованных сколов северо-северо-восточного простирания (Голозубов, Ханчук, 2006). На территории Право-Соолийского рудно-россыпного узла Журавлево-Амурский террейн представлен только берриас-валанжинской частью разреза, сложеной алевролитами, конгломератами, аргиллитами, песчаниками и вулканогенными породами.

Самаркинский террейн, осадочными и вулканическими породами которого сложена восточная часть площади Право-Соолийского рудно-россыпного узла, является фрагментом юрской акреционной призмы. В его составе присутствуют юрские слоистые и терригенные образования с аркозой кластической, содержащие многочисленные аллохтонные пластины, глыбы и обломки – фрагменты преимущественно позднемеловой и раннемеловой океанической коры. Породы матрикса представлены алевролитами, алевропелитами, аргиллитами, глинистыми кремнями и сильно измененными вулканитами, предположительно базальтовыми туфами. Содержащиеся в юрском матриксе олистолиты и олистоплаки сложены, главным образом, кремнями, глинистыми кремнями, кремнистыми аргиллитами и аргиллитами триасового возраста, а также юрскими алевролитами, алевроаргиллитами, аргиллитами и в меньшей мере песчаниками.

Право-Соолийский рудно-россыпный узел приурочен к центральной части Западно-Сихотэ-Алинской вулканогенной зоны (Дымович, 1987 г.; Изосов и др., 2005), прослеживающейся вдоль Центрального Сихотэ-Алинского разлома на 300 км при ширине 20-45 км. Данному узлу с золотой специализацией отвечает крупная, зонально построенная положительная морфоструктура центрального типа (вулcano-плутоническое поднятие), отчетливо выраженная в рельефе, гидросети, геофизических и геохимических полях (Сушкин, 2008).

Вулканогенные породы рудно-россыпного узла представлены триасовыми спилитами, эоценовыми андезитами и андезитобазальтами, а также миоценовыми базальтами; интрузивные – раннемеловыми гранитами, позднемеловыми диорит-гранитами, эоценовыми гранитами и миоценовыми габбро-долеритами (Дымович, 1987 г.).

Положение Право-Соолийского рудно-россыпного узла в зоне влияния крупнейшего глубинного разлома – Центрально Сихотэ-Алинского структурного шва, является одной из наиболее важных его особенностей. Эта структура на рассматриваемой площади представлена двумя субпараллельными разломами, прослеживающимися по обоим бортам рек Тормасу и Сооли. Они имеют

мощность 12-20 м каждый, выполнены тектонической глиной и милонитами и сопровождаются мощными зонами брекчированных и катаклазированных пород (мощностью 200-500 м). Падение северо-западного разлома вертикальное или крутое (75° ЮВ), юго-западного – крутое (70° СЗ). Эти разломы совместно с сопровождающей их серией ветвящихся разрывов различной протяженности составляют единую зону Центрального Сихотэ-Алинского шва шириной до 5-7 км. Шов представляет собой левосторонний сдвиг с амплитудой смещения от 120 до 200 км. К Центральному Сихотэ-Алинскому шву под острым углом подходит серия крупных складчатых разрывных нарушений северо-восточного направления.

Центрально-Сихотэ-Алинский структурный шов контролирует надсубдукционные меловые магматические породы Западно-Сихотэ-Алинской интрузивно-вулканогенной зоны и ассоциирующие с ними гидротермальные месторождения и рудопроявления разнообразного вещественного состава. Кроме этого, в Западно-Сихотэ-Алинской интрузивно-вулканогенной зоне встречаются магматические породы эоцен-миоценового возраста, относящиеся к Хасано-Амурскому интрузивно-вулканогенному ареалу (Геодинамика....., 2006). С магматическими породами Хасано-Амурского ареала, сформировавшегося в обстановке трансформной континентальной окраины, пространственно и генетически связано месторождение Болотистое.

Площадь месторождения Болотистого представляет собой «эрозионное окно» в покрове миоценовых базальтов кизинской свиты (рис. 1), которое сложено нижнемеловыми отложениями, а также кварцевыми диоритами, габбродиоритами, диабазами, диоритовыми порфиридами и гранодиоритами многофазной эоценовой интрузии и генетически связанными с нею покровными андезитами такого же возраста. К первой фазе относятся мелкие субвулканические тела дацитов и дайки гранодиоритов. Вторая фаза состоит из габбро-диабазов, диабазов и метагаббро, которыми сложена большая часть интрузивного массива и даек габбро-диорит-порфиров. Породы третьей фазы представлены кварцевыми диоритами, которыми сложен изометричный в плане шток в центральной части интрузивного массива. К четвертой фазе относятся диоритовые порфириды, слагающие серию силлов и даек в массиве, а также покровные андезиты кузнецовской свиты (Дымович, 1979 г).

Разрывные нарушения северо-западного и субмеридионального направления, выраженные зонами интенсивной трещиноватости и гидротермально измененными породами, контролируют размещение даек (Сушкин, 2007). Оруденение представлено крупным штокверковым телом в интрузии габбро-диоритов и лишь в незначительной мере, на отдельных участках во вмещающих, терригенно-осадочные породы нижнемелового возраста. Это тело выражено сложной системой разноориенти-рованных маломощных кварцевых или кварц-турмалиновых жил и прожилков, иногда сопровождающихся метасоматическими зонами кварц-турмалинового состава. Жилы и прожилки мощностью от нитевидных до 20 см, и протяженностью 10-15 м имеют северо-западное, субмеридиональное, реже северо-восточное или субширотное простирание и характеризуются неравномерным распределением в объеме вмещающих их пород. На отдельных участках они сближаются друг с другом, образуя протяженные жильно-прожилковые зоны мощностью до нескольких метров. В интрузиве большинство рудных тел сгруппировано в рудоносную зону шириной от 120 до 250 м и протяженностью более 800 м. Наиболее мощные и богатые рудные тела этой зоны имеют, как правило, северо-западное или близмеридиональное простирание (Дымович, 1979 г). В местах

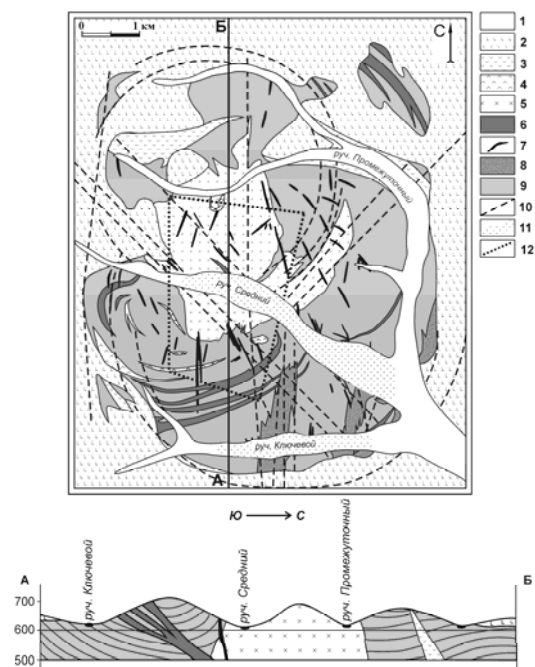


Рис. 1. Схематическая геологическая карта месторождения Болотистого по (Сушкин, 2007) с некоторыми изменениями и дополнениями. 1 - четвертичные отложения; 2 - базальты кизинской свиты, миоцен; 3-7 - эоценовый магматический комплекс: 3 - андезиты и андезито-базальты кузнецовской свиты; 4 - дациты; 5 - интрузия сложного состава (габбро, габбро-диабазы, диабазы, габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты); 6 - силлы габбро-диоритовых порфиров, гранодиоритов; 7 - дайки основного и среднего состава; 8 - щебнисто-глинистые отложения эрозионно-тектонического веза (палеоген); 9 - песчаники, реже алевролиты, аргиллиты (мел); 10 - разрывные нарушения; 11 - россыпи; 12 - контур штокверковой рудной зоны.

пересечения рудных тел отмечены раздувы (бонанцы) с очень высокими или ураганскими концентрациями золота. За пределами интрузивного тела оруденение контролируется, главным образом, зонами северо-западного, субмеридионального и северо-восточного простирания, в пределах которых распространены золотоносные кварцевые и кварц-турмалиновые жилы и прожилки в гидротермально измененных магматических и осадочных породах. Наибольшие концентрации золота отмечены в кварц-турмалиновых и кварцевых прожилках, секущих метасоматически измененные породы. Содержания золота в руде обычно не превышают первых г/т, но в отдельных штучных пробах достигают нескольких десятков г/т. Промышленные концентрации золота установлены в коренном залегании в кварц-турмалиновых метасоматитах (1.4 г/т), в измененных алевролитах и окварцованных кварцевых

диоритах (от 1 г/т и выше). Кварцевые и турмалин-кварцевые жилы и прожилки содержат вкрапленники теллуридов и сульфотеллуридов висмута, золота, сульфидов разнообразных металлов, сульфосолей свинца и сурьмы. Турмалин-кварцевые жилы и прожилки имеют зональное строение – центральная часть сложена кварцем, краевые – турмалином.

Наиболее широко во вмещающих породах проявлены процессы низкотемпературной аргиллизации. Другие изменения, такие как пропилитизация, серицитизация, альбитизация, окварцевание и турмалинизация, распространены локально. Для площади месторождения характерна раздробленность пород и широкое развитие кор выветривания. Геоморфологические условия Право-Соолийского рудно-россыпного района и месторождения Болотистого были благоприятными для образования россыпей. Гидросеть этой территории формировалась на фоне умеренных тектонических поднятий, вследствие чего

долины водотоков имеют хорошо выработанные продольный и поперечный профили, а аллювиальные отложения отличаются значительной мощностью.

На месторождении Болотистом выявлены крупные и средние по масштабу аллювиальные золотоносные россыпи в долинах ручьев Средний, Ключевой и Болотистый (Степаненко и др., 2001). Речная сеть, дренирующая месторождение, золотоносная и состоит из нескольких сопряженных друг с другом ручьев. Выделяются россыпи ближнего сноса (ручьи Средний и Ключевой), образовавшиеся в результате переработки золотоносного склонового материала и поступления металла из вскрытых в плотике рудных тел. К дальнему сносу относится россыпь, расположенная ниже по течению по ручью Болотистому. Данная россыпь не имеет непосредственной связи с коренным источником и сформирована за счет транзитного металла. Общая протяженность россыпного узла по ручьям Среднему и Болотистому составляет более 10 км. Наиболее богатая россыпь приурочена к долине руч. Среднего, который размывает центральную часть месторождения Болотистого. Менее значительны параметры россыпи по руч. Ключевому. Она образована за счет дренирования ручьем краевых частей рудного поля. Плотик россыпей сложен терригенными образованиями, которые прорываются дайками диабазов и габбро-диоритов. Рыхлые отложения представлены слабо окатанными галечно-гравийными отложениями с незначительной долей валунов в их верхних частях (Сушкин, 2007).

**Первое защищаемое положение.** *Коренное золотое оруденение месторождения Болотистого представлено двумя минеральными комплексами в штокверковом теле, контролирующим многофазной эоценовой интрузией габбро-диоритового состава. Кварц-арсенидно-сульфидный комплекс размещен в эоценовой интрузии габбро-диоритового состава. Кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый комплекс слагает периферическую часть штокверка в нижнемеловых околинтрузивных терригенных породах. Оруденение месторождения Болотистого относится к среднеглубинной золото-кварцевой формации.*

Как следует из приведенной выше геологической характеристики, региональными факторами контроля эндогенного оруденения месторождения Болотистого являются Центральный Сихотэ-Алинский и Хасано-Амурский интрузивно-вулканогенный ареал. Фактором контроля эндогенного оруденения в пределах площади месторождения является многофазная эоценовая интрузия габбро-диоритового состава. В пределах штокверка, характеризующегося неравномерным распределением золота, максимальные концентрации этого металла контролируются трещинными структурами северо-западного и субмеридионального простирания, образующими в совокупности мощную и протяженную зону северо-западного направления. В жилах, прожилках и в рудоносных измененных породах штокверка выявлено около 50 эндогенных и экзогенных минералов. Среди эндогенных рудных минералов преобладают сульфиды. Сульфидная минерализация присутствует, главным образом, в виде рассеянной вкрапленности. Содержание сульфидов в жилах и прожилках составляет 1-3 редко 5 %. Их распределение в жильном материале весьма неравномерное. К наиболее часто встречающимся сульфидам относятся пирит, арсенипирит, халькопирит и пирротин. Количественные соотношения между ними отличаются непостоянством. Характерной чертой является выявленная на

месторождении Болотистом кобальт-никелевая минерализация, представленная герсдорфитом, ульманитом, аллоклазитом, данаитом и глаукодомом.

В многофазной интрузии жилы и прожилки с однотипным (по минеральному составу и пробе золота) оруденением секут все слагающие ее породы второй фазы (габбро-диабазы, диабазы, метагаббро, а также габбро-диорит-порфиры дайковой серии, приуроченные к кольцевым ограничениям основной интрузии или к радиальным разломам в ее пределах). Такие же (по составу и по пробе золота) жилы и прожилки характерны и для кварцевых диоритов третьей фазы. В магматических породах четвертой фазы (диоритовых порфиритах, слагающих серию силлов и даек в интрузивном массиве, а также в покровных андезитах кузнецовской свиты) золотое оруденение отсутствует. Таким образом, можно полагать, что оруденение, локализованное в многофазной интрузии, связано с постмагматическими гидротермальными процессами второй и третьей фазы. За пределами многофазной интрузии золотоносные жилы и прожилки секут нижнемеловые песчаники и алевролиты, а также магматические породы (субвулканические дациты) наиболее ранней (первой) фазы. Оруденение за пределами многофазной интрузии отличается по минеральному составу и пробе золота (эти отличия будут подробно рассмотрены ниже), что дает некоторые основания связывать его с постмагматической деятельностью первой фазы, продукты которой пространственно обособлены от продуктов постмагматической деятельности второй и третьей фазы. С другой стороны, различия в пробе золота и в минеральном составе оруденения могут быть обусловлены разным уровнем эрозионного среза, влиянием состава вмещающих пород или другими причинами.

Таким образом, коренное оруденение месторождения Болотистое представлено двумя продуктивными минеральными комплексами. Они различаются по минеральному составу, пробе самородного золота. Оба комплекса – кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый и кварц-арсенидно-сульфидный, содержат в своем составе теллуриды и сульфотеллуриды висмута.

*Кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый комплекс.* Минералами этого комплекса сложены кварц-турмалиновые прожилки, которые секут дайки среднего и основного состава, эоценовые дациты и вмещающие их меловые осадочные породы за пределами многофазной интрузии габбро-диоритов. Основными нерудными минералами являются кварц и турмалин. Рудные минералы представлены в основном тетрадимитом, теллуровисмутитом, цумоитом и самородным золотом; менее распространены сульфиды. Зерна *кварца* сечением от 2×1 мм до 0.01×0.02 мм зубчатого, округлого или призматического облика, нередко загрязненные многочисленными пылевидными включениями, образуют неравномернозернистые агрегаты, слагающие основной объем прожилков. В кварце обычно присутствуют мельчайшие включения турмалина и, изредка, включения окисленного рудного минерала, а также вкрапленники и гнезда висмут-теллуровых минералов и самородного золота. *Турмалин* слагает гнезда, и призальбандовые оторочки в кварцевых прожилках. Он присутствует, кроме того и в околожильных метасоматитах. По данным инфракрасной спектроскопии этот минерал относится к дравиту. *Самородное золото* в кварц-турмалиновых прожилках присутствует в виде зерен размером от 0.5 до 0.16 мм в поперечнике. Оно часто образует сростания с теллуровисмутитом, тетрадимитом и цумоитом. Для золота характерны желтый цвет, изометроичный, бесформенный, интерстиционный, удлинённый или гемиидиоморфный облик. Его пробность изменяется от 925 до 985 ‰. *Тетрадимит* ( $Bi_2Te_2S$ ) установлен в кварц-турмалиновых прожилках в виде отдельных зерен (2-4 мм) или гнезд (1-2 см).

Кроме того, он образует сростания с теллуровисмутитом, самородным золотом и цумоитом. Особенностью состава тетрадимита является присутствие селена (0.91 до 1.50 мас. %). *Теллуровисмутит* встречается в виде пластинчатых выделений длиной от 1 до 5 мм, образующих сростания с самородным золотом и тетрадимитом. Элементы-примеси в нем не установлены. *Цумоит* встречается в виде вкрапленности и скопления зерен размером 0.3-1.0 мм. Он образует сростания с тетрадимитом, теллуровисмутитом и самородным золотом. Особенностью состава цумоита является присутствие селена (1.09 до 2.08 мас. %) и свинца (от 0.68 до 1.78 мас. %).

*Кварц-арсенидно-сульфидный комплекс.* Ограниченно развитые руды этого комплекса сложены золотоносными кварцевыми, редко кварц-кальцитовыми прожилками секущими эоценовое интрузивное тело (от эоценовых габбро до кварцевых диоритов). Главным нерудным минералом этого комплекса является кварц; редко встречается кальцит. Рудные минералы представлены пиритом, пирротином, халькопиритом, арсенопиритом, сфалеритом и галенитом. Встречаются глаукоdot, данаит, аллоклазит, ульманнит, герсдорфит, буланжерит и самородное золото пробностью 740-800 ‰. Широко распространены минералы висмута и теллура, такие как свинцово-висмутовая сульфосоля ( $PbBiS_2$ ), тетрадимит, цумоит, протожозеит и самородный висмут. *Кварц*, обычно слагающий основной объем жил и прожилков, присутствует в виде тонко-мелкозернистых аллотриоморфных агрегатов с мозаичной структурой зерен. *Кальцит* является одним из главных минералов кальцит-кварцевых и кальцитовых прожилков. *Самородное золото* встречается в виде выделений, выполняющих интерстиции между зернами кварца, а также образует изометричные, бесформенные и удлинённые формы светло-желтого цвета от 0.01 до 0.2 мм. Наблюдаются включения золота в халькопирите, пирите, арсенопирите и ульманите. Оно выполняет микропрожилки в арсенопирите и образует сростки с ульманитом. Для него характерны парагенезис с халькопиритом, пиритом, галенитом, тетрадимитом, редкими зернами самородного висмута, цумоита и протожозеита (Лотина, 2010). Пробность золота – 740-800 ‰. *Арсенопирит* встречается в виде вкрапленности одиночных кристаллов размером до 0.1 мм и их сростков, а также мономинеральные гнезда размером от 0.5 до 1-2 см. Он образует тесные сростания с редкими Co-Ni минералами – данаитом, глаукоdotом и ульманитом, которые образуют каемки по периферии его зерен. Кристаллы арсенопирита часто рассечены системами микротрещин, которые выполнены халькопиритом, самородным золотом, галенитом и сфалеритом. *Глаукоdot* образует агрегаты сложенные субпараллельными призматическими кристаллами (длиной от 0.01 до 1.0 мм) с ромбовидными сечениями, иногда слагает каемки вокруг зерен арсенопирита. *Данаит* встречается вместе с арсенопиритом, аллоклазитом и глаукоdotом. Он образует самостоятельные зерна, промежутки между которыми выполнены кварцем, или совместно с аллоклазитом слагает маломощные (0.01-0.9 мм) каемки вокруг зерен арсенопирита. *Аллоклазит* слагает мономинеральные (или вместе с данаитом) маломощные каемки вокруг зерен арсенопирита, а также иногда образует ромбические кристаллы на границе с галенитом и халькопиритом. Иногда встречаются мелкие (первые мкм) призматические (с ромбовидным сечением) кристаллы аллоклазита в зернах ульманита, локализованных среди халькопирита. *Пирит* наиболее распространенный рудный минерал. Он образует рассеянную вкрапленность одиночных кристаллов (0.5-1 мм) и их сростков, реже слагает гнезда (1-2 см) и выполняет микропрожилки (1-5 см). Пирит встречается в сростках с арсенопиритом, халькопиритом, пирротином, сфалеритом, галенитом и

кобальт-никелевыми минералами. Иногда он содержит микровключения самородного золота и замещается пирротином, марказитом и лимонитом. *Пирротин* встречается редко в сравнении с другими сульфидами. Он образует изометричные вкрапленники с аллотриоморфнозернистым строением. Диаметр его зерен изменяется от 1 до 3 мм. Иногда наблюдаются сростания пирротина с халькопиритом, самородным золотом. Наблюдались признаки замещения пирротина пиритом и марказитом. *Халькопирит* образует вкрапленники изометричной формы или выполняет микротрещины в пирите и арсенопирите. Зерна этого минерала размером 1-3 мм обычно содержат мелкие звездчатые выделения сфалерита, образовавшиеся в результате распада твердого раствора. Иногда халькопирит образует сростания с галенитом, сфалеритом, пирротином и содержит мелкие включения самородного золота. На границе халькопирита и галенита были установлены ромбические зерна аллоклазита. *Галенит* образует рассеянную вкрапленность в виде одиночных кристаллов размером до 2 мм, которые присутствуют в микрокристаллических кварцевых агрегатах или приурочены к трещинам и микродефектам в зернах арсенопирита. Иногда галенит слагает микропрожилки в арсенопирите. В халькопирите он образует сростания с протожозеитом и аллоклазитом. Отмечались признаки замещения галенита буланжеритом. *Сфалерит* образует зерна изометричной формы в сростании с халькопиритом или эмульсионную вкрапленность в этом минерале. *Буланжерит* образует редкие таблитчатые зерна длиной от 1 до 2 мм в мелкозернистом кварцевом агрегате, выполняющем основной объем жилок и прожилков в кварц-арсенидно-сульфидном комплексе. Отмечались признаки замещения галенита буланжеритом. Особенностью состава минерала является изоморфная примесь висмута (до 5.36 мас. %) и селена (до 0.80 мас. %). *Ульманнит* встречается относительно редко в виде идиоморфных кристаллов кубического габитуса размером 0.01-0.03 мм в кварцевых прожилках. Он выполняет микротрещинки совместно с самородным золотом в арсенопирите, образует сростания с самородным золотом, халькопиритом, арсенопиритом и аллоклазитом. Особенностью состава ульманита является изоморфная примесь мышьяка (до 0.60 мас. %) и железа (до 0.42 мас. %). *Герсдорфит* обнаружен в виде кристаллов кубической формы, размер ребра 0.02-0.05 мм. Он установлен в парагенезисе с халькопиритом и самородным золотом. Особенностью состава этого минерала является присутствие изоморфной примеси железа (до 2.35 мас. %). *Сульфосоля  $PbBiS_2$  (?)* наблюдается в виде самостоятельных вкрапленников размером 0.02-0.05 мм или образует сростание с самородным висмутом, протожозеитом и иногда замещает галенит в халькопирите. По химическому составу изученный минерал наиболее близок козалиту, но отличается от него значительным недостатком S и присутствием до 6.05 мас. % Ag. Результаты анализов этого минерала лучше пересчитываются на формулу  $PbBiS_2$ . Сульфосоля  $PbBiS_2$  содержит в своем составе немного селена, сурьмы и меди. *Тетрадимит* встречается в виде вкрапленности (0.01-0.1 мм) или мелких гнезд. Тетрадимит иногда образует сростания с цумоитом и сфалеритом или присутствует в виде включений в халькопирите и пирите. Он не отличается по составу от тетрадимита первого комплекса. *Протожозеит ( $Bi_4TeS_2$ )* встречается в виде отдельных зерен 0.03-0.5 мм или образует сростания с галенитом и с сульфосоля  $PbBiS_2$  (?). Особенностью его состава является присутствие селена (1.56-2.13 мас. %). *Цумоит* образует вкрапленность и скопления зерен 0.01-0.8 мм. Иногда он встречается в сростании с тетрадимитом в халькопирите. В отличие от цумоита из кварц-

турмалин-золото-тетрадимит-теллурувисмутитового минерального комплекса он не содержит селена и свинца. *Самородный висмут* выделяется в виде самостоятельных рассеянных зерен 0.5–1 мм или образует сростания с галенитом, сульфосолю PbBiS<sub>2</sub>.

Оба комплекса содержат в своем составе теллуриды и сульфотеллуриды висмута и слагают морфологически идентичные геологические образования (жилы и прожилки), представляющие собой элементы единого, длительно формировавшегося штокверка (табл. 1). Главными жильными минералами кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллурувисмутитового комплекса являются кварц и турмалин, тогда как в жилах и прожилках, сложенных ассоциациями кварц-арсенидно-сульфидного комплекса являются кварц и иногда кальцит. Первый и второй минеральные комплексы существенно различаются и по набору рудных минералов. Кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллурувисмутитовый комплекс включает небольшое число рудных минералов, к которым, кроме самородного золота, относятся лишь тетрадимит, теллурувисмутит, цумоит. Его особенностью является относительно низкое содержание (0.2 %) сульфидов и высокая проба золота (925-985 ‰). Кварц-арсенидно-сульфидный комплекс характеризуется гораздо более сложным минеральным составом, присутствием разнообразных сульфидов и соединений никеля, кобальта, железа, мышьяка и сурьмы.

Присутствующая в его составе висмут-теллуровая минерализация более разнообразна в минералогическом отношении, а самородное золото характеризуется низкой и средней пробой (740-800 ‰).

Судя по геологическим условиям залегания, оба золотоносных минеральных комплекса месторождения Болотистого относятся к среднеглубинной золоторудной формации. Особенностью месторождений этой формации является локализация их в складчатых зонах и в областях тектоно-магматической активизации (Петровская, 1958). В региональном плане месторождения среднеглубинной формации контролируются крупными долгоживущими разломами, складчатыми и блоковыми структурами, ареалами и поясами развития интрузивных и интрузивно-вулканогенных комплексов. Основными структурными элементами рудных полей, относящихся к золоторудной среднеглубинной формации, являются разрывные нарушения преимущественно сколового происхождения, зоны трещиноватости, контакты интрузивных тел, реже зоны смятия и дробления. Большинство месторождений среднеглубинной формации представлено жильным и штокверковым типами.

В отличие от них, малоглубинные и близповерхностные месторождения встречаются преимущественно в мощных толщах вулканитов, среди туфов, эксплозивных брекчий и в жерловых фациях палеовулканов.

На среднеглубинных золоторудных месторождениях гидротермально-измененные породы относятся преимущественно к березитовой и ей подобной формации. Для метасоматических пород месторождений березитовой формации, к которой могут быть отнесены в значительной части и гидротермально-измененные породы месторождения Болотистого. Для месторождений подобного типа характерно замещение кислых пород агрегатами альбита, серицита, кварца, карбонатов и пирита, а основных – агрегатами карбонатов, хлорита, реже серицита, альбита и пирита. На площадях некоторых золоторудных месторождений среднеглубинной формации присутствуют обширные поля турмалинизации. Характерными текстурами руд среднеглубинных месторождений являются инкрустационные полосчатые, гребенчатые и кокардовые. Местами, особенно на верхних горизонтах, распростране-

Сравнительная характеристика минеральных комплексов штокверкового тела месторождения Болотистого

Минеральный комплекс	Кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллурувисмутитовый	Кварц-арсенидно-сульфидный
Местоположение	Периферическая часть штокверкового тела локализованная в раннемеловых песчаниках за пределами эоценовой интрузии	Центральная часть штокверкового тела локализованная в пределах эоценовой интрузии
Основные минералы	Кварц, турмалин	Кварц, кальцит
Прочие минералы	Самородное золото, тетрадимит, теллурувисмутит, цумоит, в незначительном количестве сульфиды (пирит, арсенопирит)	Самородное золото, тетрадимит, самородный висмут, протозокеит, цумоит, сульфосолю PbBiS <sub>2</sub> (?), буланжерит, ульманит, герсдорфит, сульфиды (пирит, арсенопирит, аллоклазит, глаукоdot, данаит, халькопирит, пирротин, галенит и сфалерит)
Проба самородного золота, ‰	925–985	740–800
Размер зерен самородного золота, мм	Преобладает –0.25; менее распространен +0.25–0.5; +0.5–1.0 и редко +1.0–2.0	Преобладает <0.16
Минералы в сростании с самородным золотом	Тетрадимит, теллурувисмутит, цумоит, кварц и турмалин	Тетрадимит, цумоит, сульфиды, кварц и кобальт-никелевые минералы
Распространение	Широкое	Редкое

ны друзовые полости выщелачивания, инкрустированные кристаллами сульфидов. Здесь для кварцевых агрегатов характерны неравномерная зернистость и текстуры хрупких деформаций, проявленных в виде неоднократных внутрирудных пересечений и брекчий. По минеральному составу руды месторождений, относящихся к среднеглубинной формации, отвечают семейству умеренно сульфидных образований с величиной кварц-сульфидного отношения 9:1 – 9:2 и менее и золото-сульфидным отношением менее 1:10 – 1:50. Отличительными признаками среднеглубинной формации от малоглубинной являются существенная роль минералов мышьяка, свинца, цинка и висмута. Для среднеглубинных золоторудных месторождений характерно золото средней и высокой пробы (800-

950 %). Однако нередко наблюдаются отклонения от этой закономерности, обусловленные различными факторами (Петровская, 1973). Золотины и самородки представлены более крупными агрегатами, чем частицы золота из малоглубинных месторождений. Они химически более однородны, двойники более простые, дендриты не характерны. Многие месторождения, относящиеся к среднеглубинной золоторудной формации, содержат в составе продуктивных ассоциаций разнообразные соединения висмута и теллура. Особенности коренного золотого оруденения месторождения Болотистого соответствуют всем рассмотренным выше признакам месторождений среднеглубинной золоторудной формации.

**Второе защищаемое положение.** *Типоморфные особенности самородного золота из штокверкового тела (размерность, морфология, проба, набор и уровень содержания элементов-примесей, а также минеральный состав сростаний) сохраняются в россыпях месторождения Болотистого и являются показателями генетической связи.*

В пределах месторождения распространены мощные площадные коры выветривания позднеэоценового-раннечетвертичного возраста. Факторами их формирования явились повышенная трещиноватость пород и широкое распространение относительно богатых железом интрузивных пород среднего-основного состава. Трещиноватость в существовавших климатических условиях способствовала проникновению богатых кислородом поверхностных вод на большую глубину. Это обстоятельство приводило к превращению пород до глубины 10-25 м в «минеральную сыпучку» из-за разрушения первичных минералов в результате окисления железа, а также вследствие механического разрушения при замерзании воды и других экзогенных факторов. Наличие мощных кор выветривания в условиях достаточно влажного климата с большими перепадами температур при наличии богатых коренных источников золота, самородной форме этого металла и хорошо развитой гидросети способствовало интенсивному проявлению эрозионных процессов и образованию россыпей, отличающихся высокой продуктивностью, большими размерами и слабой истертостью зерен золота. Одним из важнейших россыпеобразующих факторов являлся и штокверковый тип рудного тела, обеспечивавший поступление самородного золота в гидросеть с большой площади водосбора. Важную роль в образовании и размещении россыпей на площади месторождения Болотистого играли морфологические особенности долин дренирующих ее ручьев – изменчивый, но в целом небольшой уклон, наличие поворотов и пережимов, а также наличие и особенности строения плотика, обусловленные чередованием пород, различающихся по устойчивости к воздействию экзогенных факторов. Для месторождения Болотистого характерно частичное пространственное совмещение коренного источника и россыпей, обусловленное большой площадью золотоносного штокверка и относительно небольшим уклоном долин дренирующих его ручьев.

Известно, что не все коренные месторождения золота сопровождаются россыпями. Некоторые богатые и крупные золотоносные россыпи не удается связать с адекватными по качественным и количественным характеристикам коренными источниками (Шило, 2000). Кроме того, коренные месторождения золота, относящиеся к одной и той же формации, не всегда сопровождаются россыпями.

Наиболее высоким россыпеобразующим потенциалом обладают коренные месторождения золота, относящиеся к золото-кварцевой формации. Россыпеобразующий потенциал золоторудных месторождений во многом

определяется преобладающей размерностью зерен самородного золота, оказывающей влияние на миграционные свойства этого минерала. Не накапливаются в россыпях зерна субмикроскопической и микроскопической размерности. Из этого следует, что все рудные месторождения, содержащие подобное золото, могут быть исключены из числа россыпеобразующих (Шило, 2000). В случае месторождения Болотистого, преобладающая размерность самородного золота в эрированной части штокверкового тела являлась благоприятным фактором для образования россыпей.

Таким образом, к факторам, определившим образование и особенности размещения крупных россыпей на площади месторождения Болотистого, относятся присутствие коренного богатого золотом источника штокверкового типа, самородная форма этого металла, размерность его зерен, пострудная тектоника, химический состав вмещающих пород, литология дренируемых участков месторождения, наличие хорошо развитой гидросети, морфологические особенности долин ручьев и климатические условия. Некоторые из перечисленных выше факторов (тип вмещающих пород, морфология рудных тел и размерность самородного золота), относящиеся к важнейшим признакам формационной принадлежности, определяют высокий россыпеобразующий потенциал золоторудных месторождений. Таким образом, как показано на примере месторождения Болотистого, месторождения среднеглубинной золото-кварцевой формации с золото-висмут-теллуровой минерализацией, обладающие подобными признаками, характеризуются высоким россыпеобразующим потенциалом и при наличии других благоприятных факторов сопровождаются крупными связанными с ними золотоносными россыпями.

*Типоморфные особенности рудного самородного золота*

**Гранулометрический состав.** В основном преобладает весьма мелкое -0.25 мм (80 %), и мелкое +0.25-0.5 мм (18 %) самородное золото. Менее распространены зерна самородного золота размерностью +0.5-1.0 мм (2 %).

**Морфология зерен.** Среди морфологических форм самородного золота выделены изометричные, бесформенные (92 %), уплощенные (5 %) или удлиненные (3 %). Встречаются сростания идиоморфных выделений (кристаллов), а также единичные кристаллы самородного золота, свидетельствующие об условиях свободного роста в полостях микротрещин. Кристаллы самородного золота характеризуются изометричными, округлыми и кристалломорфными (призматического, гексагонального и октаэдрического облика) формами. В сростаниях с теллуридами встречаются зерна самородного золота гемиидиоморфной формы.

**Микрорельеф поверхности зерен.** Для самородного золота характерна микроморфология поверхности зерен, обусловленная их совместным ростом с зернами других минералов в ограниченном пространстве. Основным типом микрорельефа поверхности зерен самородного золота в этом случае является отпечатковый. Скульптура поверхности проявлена в виде ступеней роста или наростов неправильной формы. Обычно на гранях кристаллов отмечаются признаки послынного роста, к которым относятся, в частности, присутствие зародышей и ступенчатое строение поверхности. Во многих случаях на поверхности кристаллов самородного золота видны отпечатки кристаллов других минералов



**Проба.** В кварц-арсенидно-сульфидном минеральном комплексе проба золота колеблется в пределах 740-800 ‰. В кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуридовисмутитовом комплексе она составляет 925-985 ‰.

**Элементы-примеси.** В качестве основных элементов-примесей в самородном золоте обнаружены Si (400 г/т), Bi (до 91 г/т), Te (100 г/т), Cu (290 г/т), Pb (26 г/т), Hg (100 г/т), Fe (208 г/т). В меньшем количестве содержатся Al (до 6 г/т), Ti (6 г/т), Mn (2 г/т), Mg (7 г/т) и Zr (10 г/т). Иногда присутствует примесь Pd (9 г/т).

**Срастания самородного золота.** Самородное золото, относящееся к раннему минеральному комплексу, ассоциирует с кварцем, тетрадимитом, теллуридовисмутитом и турмалином, и образует срастания с этими минералами. Самородное золото в кварц-арсенидно-сульфидном минеральном комплексе ассоциирует и образует срастания с тетрадимитом, цумоитом, кварцем, сульфидами и кобальт-никелевыми минералами.

#### Типоморфные особенности россыпного самородного золота.

**Гранулометрический состав.** В россыпях преобладают зерна самородного золота крупной и средней размерности. В верховьях руч. Среднего характерна размерность зерен +2.0 (56 %) и +0.5-2.0 мм (20 %) (рис. 2). Менее распространены фракции +0.25-0.5 мм (17 %) и -0.25 мм (7 %). В нижнем течении ручья Среднего преобладает фракция +0.5-2.0 мм (46 %) и +0.25-0.5 мм (31 %). Менее распространены зерна самородного золота, относящиеся к фракциям +2.0 (13 %) и -0.25 (10 %). Таким образом, для россыпи руч. Среднего характерно золото средней (+0.5-2.0 мм) и крупной (+2.0 мм) размерности. Менее распространено мелкое и весьма мелкое золото. Вниз по течению в россыпи закономерно уменьшается относительное количество средней и крупной фракции самородного золота и увеличивается доля мелкой и весьма мелкой. Золото россыпи руч. Ключевого представлено в основном зернами средней (+0.5-2.0 мм) и мелкой (-0.25 мм) размерности. Меньшую долю составляют фракции +0.25-0.5 мм и +2.0 мм (рис. 3). В россыпи руч. Болотистого, в верхнем течении ключа более преобладает золото размерностью +0.25-0.5 мм (55 %), и -0.25 (36 %). Меньшую долю составляют фракции от +0.5-2.0 мм (8 %) и +2.0 мм (1 %). В нижнем течении ручья установлены зерна самородного золота размерностью +0.25-0.5 мм составляют 70 %, +0.5-2.0 мм – 15 %, -0.25 мм – 13 % и +2.0 мм – 2 %.

Таким образом, для россыпного золота месторождения Болотистого наиболее характерны, в целом, зерна средней и крупной размерности, но по мере удаления от коренного источника заметно возрастает доля более мелких фракций этого минерала.

**Морфология зерен.** В россыпях месторождения Болотистого доля зерен правильных морфологических форм самородного золота. Основное значение имеют зерна самородного золота неправильных морфологических форм. В россыпи ручья Среднего, в верхнем его течении, преобладают комковидные и бесформенные (96 %) зерна. В меньшем количестве встречаются зерна удлиненной (3 %) и уплощенной (1 %) формы. В нижнем течении этого ручья уменьшается доля комковидного и бесформенного золота (83 %) и возрастает относительное количество уплощенного (9 %) и удлиненного (8 %) (рис. 3). В россыпи ручья Ключевого для различных морфологических форм зерен самородного золота характерны, в целом, следующие количественные соотношения: комковидного и

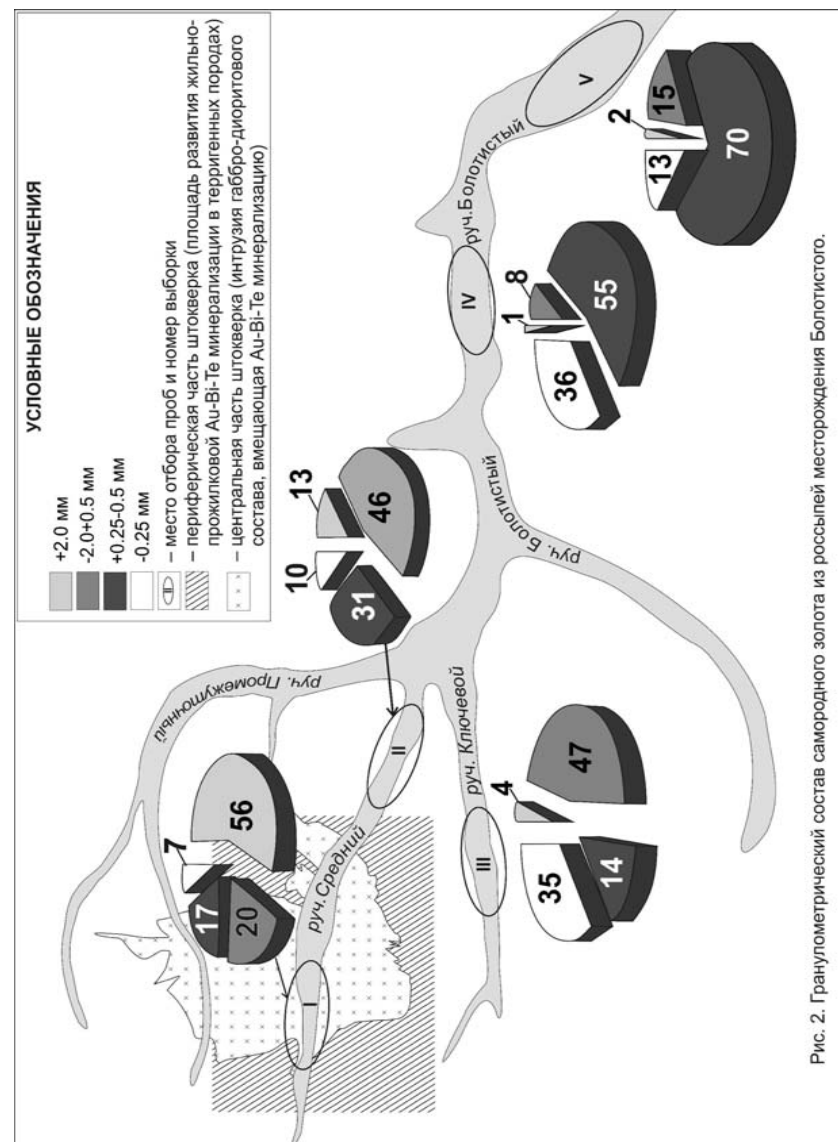


Рис. 2. Гранулометрический состав самородного золота из россыпей месторождения Болотистого.

бесформенного 90 %, удлиненного 8 %, уплощенного 2 %. В россыпи руч. Болотистого, в верховьях преобладают комковидные и бесформенные (79 %), удлиненные (10 %) и уплощенные (11 %) зерна. В нижнем течении этого ручья уменьшается доля комковидного и бесформенного (61 %) золота, а также

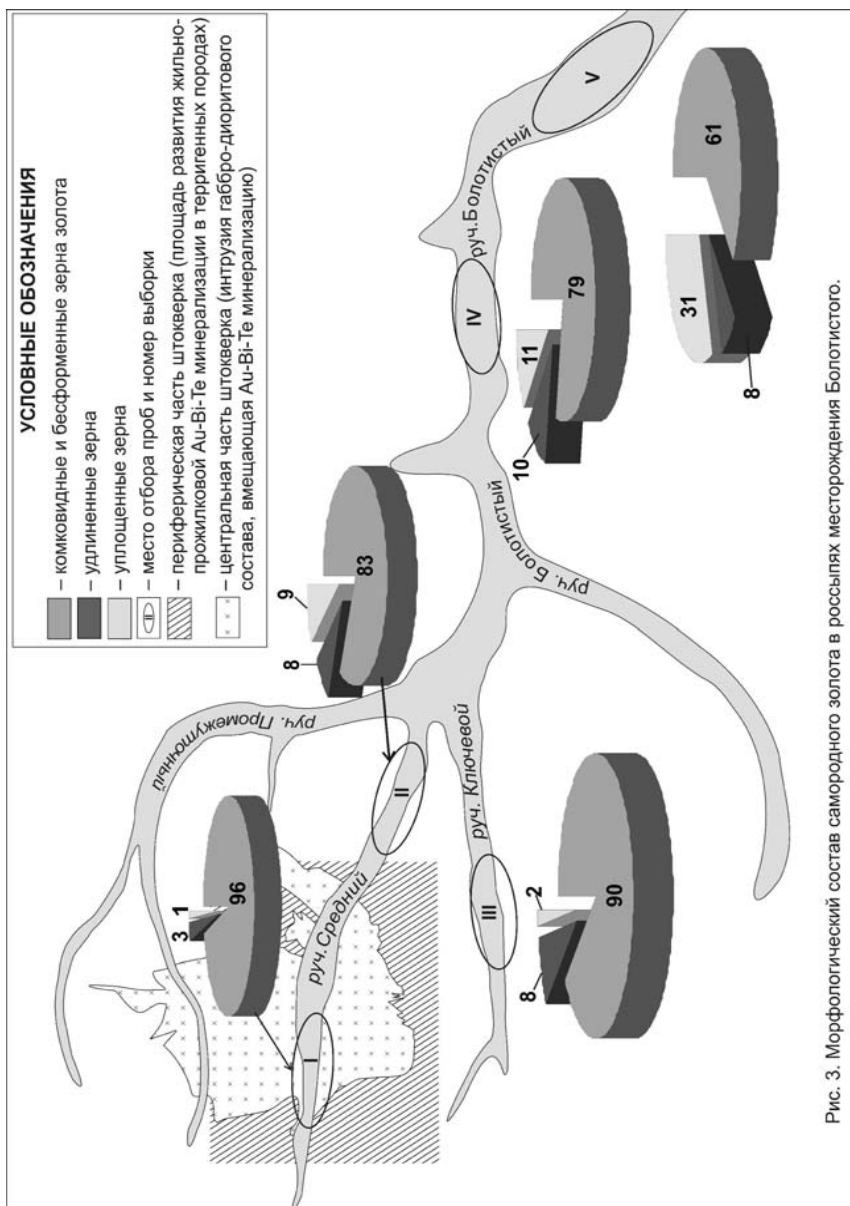


Рис. 3. Морфологический состав самородного золота в россыпях месторождения Болотистого.

удлиненных зерен (8 %) и значительно возрастает относительное количество уплощенных (31 %) (рис.3).

**Степень окатанности зерен.** По степени окатанности различаются неокатанные (угловатые), полуокатанные (полуугловатые) и окатанные зерна

самородного золота. Последние встречаются главным образом в нижней части россыпи руч. Болотистого. Неокатанные золотины имеют отпечатковый рельеф поверхности с остроугольными элементами. Полуокатанные зерна обладают бугорчато-ямчатой и шероховатой поверхностью. Золотины характеризуются блеском средней интенсивности и желтой до буровато-желтой (за счет пленок гидроокислов железа) окраской.

**Скульптура поверхности** содержит важную информацию не только об особенностях и условиях рудообразования, но и об условиях высвобождения, переноса и отложения зерен самородного золота в россыпях.

Для зерен самородного золота из россыпей Болотистого месторождения характерны разнообразные типы морфологии (скульптуры) поверхности, обусловленные различными механизмами ее образования, к которым относятся сокристаллизация самородного золота с другими минералами в полостях, образование одиночных зерен в свободном пространстве и частичное растворение уже сформировавшихся зерен. В соответствии с этим можно выделить поверхности зерен самородного золота, относящиеся к нескольким генетическим типам – поверхность совместного роста с другими минералами в полостях, поверхность роста в свободном пространстве (или поверхность свободного роста) и поверхность растворения.

**Проба россыпного золота.** В россыпи руч. Среднего, в верхнем течении (выборка I) проба самородного золота изменяется от 920 до 995 ‰. В нижнем течении этого ручья она составляет 920-985 ‰ (выборка II). В россыпи руч. Ключевой проба самородного золота колеблется в пределах от 920 до 978 ‰ (выборка III). В верхней части россыпи ручья Болотистого она составляет 940-980 ‰ (выборка IV), а в низовье ручья – 920-990 ‰. Таким образом, как в пределах отдельных россыпей, так и в целом, проба россыпного золота изменяется в относительно небольших пределах.

**Элементы-примеси.** По результатам количественного и приближенно-количественного эмиссионного спектрального анализа в россыпном золоте месторождения Болотистого постоянно присутствуют висмут и теллур, которым обычно сопутствуют медь, свинец, мышьяк, сурьма, ртуть и железо, кремний, алюминий, титан, магний и цирконий. В россыпи руч. Среднего, в верховьях ключа (выборка I) самородное золото содержит примеси Bi (от 1 до 213 г/т), Te (17-576), Cu (65-900), Pb (3-930), As (9-386), Sb (25-168) и Hg (49-450). В небольшом количестве присутствуют Ni (1-11 г/т), Co (1-19), Sn (4-25) и Pd (1-15). В низовье руч. Среднего (выборка II) в самородном золоте присутствуют Bi (8-140 г/т), Te (12-131), Cu (160-300), Pb (9-28), As (8-21), Sb (6-14), Hg (68-370), Sn (до 11), Ni (до 3), Pt (до 12) и Pd (4-70).

В россыпи руч. Ключевой (выборка III) самородное золото содержит Bi (34-73 г/т), Te (30-92), Cu (97-200), Pb (3-12), As (8-18) и Hg (99-571). В россыпи ручья Болотистого в верховьях ключа (выборка IV) в самородном золоте среди элементов-примесей преобладают Cu (162-710 г/т), Hg (50-231) и Bi (7-130). Постоянно присутствуют Te (6-43 г/т), Pb (11-38), As (17-44) и Pd (5-25). Иногда отмечается примесь Ni (до 6 г/т). В низовье руч. Болотистого (выборка V) в самородном золоте присутствуют Bi (7-60 г/т), Te (40-80), Cu (310-810), Pb (7-17), As (10-50), Hg (50-70) и Pd (3-10).

**Срастания самородного золота.** В россыпях месторождения Болотистого встречаются срастания самородного золота с тетрадимитом, теллуrowисмутитом, цумоитом, кварцем и турмалином.

С целью выяснения степени сохранности основных особенностей самородного золота из коренных источников в россыпях и более корректного, чем только по пространственной ассоциации, обоснования генетической связи россыпей месторождения Болотистого с золотоносным штокверком, ниже приведена сравнительная характеристика типоморфных признаков этого минерала.

**Размерность зерен.** Рудное и россыпное золото существенно различается по размерности зерен. Для самородного золота из штокверкового тела характерны фракции +0.16-0.25 и -0.16, а для россыпного золота - +0.5-2.0 и +2.0 (табл. 2). Средние и крупные зерна самородного золота, а также самородки обычно характерны для россыпей, связанных с коренными объектами малосульфидного и умеренно-сульфидного типа среднеглубинной золото-кварцевой формации, и месторождение Болотистое не является в этом отношении исключением.

Известно, что в россыпях зерна самородного золота, в целом, крупнее, чем в коренных источниках. Эта закономерность обусловлена, как показано многими исследователями, выносом зерен мелких фракций за пределы россыпей. Источником крупного золота россыпей месторождения Болотистого являлись, по-видимому, эродированные к настоящему времени “рудные столбы” верхней части штокверкового тела. Подобные случаи известны в других золоторудных районах.

**Морфология зерен.** Зерна самородного золота из штокверкового тела и верхней части россыпей (руч. Средний, Ключевой) близки в основном по своей морфологии. В обоих случаях для них характерно преобладание зерен неправильных и смешанных морфологических форм удлиненного, комковидного и сложноконковидного облика. В мелких фракциях нередко встречаются зерна, обладающие правильными морфологическими формами.

**Рельеф поверхности.** Для зерен самородного золота из штокверкового тела наиболее характерен отпечатковый рельеф с хорошо выраженными ступенями роста, ребрами, углублениями, неправильными наростами и зародышами кристаллов на отпечатавшихся гранях. Такие же формы рельефа, отражающие в данном случае эндогенные условия кристаллизации в штокверке, характерны и для зерен самородного золота из россыпей месторождения Болотистого. Однако, в россыпях, кроме того, встречаются шероховато-бугристые и кавернозные формы рельефа поверхности зерен самородного золота, сформировавшиеся в экзогенных условиях.

**Проба.** В кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовом комплексе она составляет 925-985 % и близка к пробе самородного золота из россыпей (925 до 995 %). Проба самородного золота в кварц-арсенидно-сульфидном минеральном комплексе штокверкового тела колеблется в пределах 740-800 % (табл. 2).

**Элементы-примеси.** По набору и содержанию элементов-примесей зерна рудного и россыпного золота месторождения Болотистого очень близки. Основными элементами-примесями в обоих случаях являются висмут, теллур, медь, свинец, мышьяк, сурьма и ртуть. Изредка как в коренном, так и в россыпном золоте присутствует примесь платины или палладия.

**Срастания самородного золота.** В штокверковом теле самородное золото, относящееся к кварц-турмалин-тетрадимит-теллуровисмутитовому комплексу,

Сравнительная характеристика типоморфных особенностей рудного и россыпного золота месторождения Болотистого

Штокверковое тело	Россыпи
<b>Размер зерен</b>	
Преобладает +0.16-0.25 мм и -0.16 мм, менее распространен +0.25-0.5 мм; +0.5-1.0 мм и редко встречается +1.0-2.0 мм	Преобладает +0.5-2.0 мм и +2.0 мм, реже встречается -0.25 мм
<b>Морфология зерен</b>	
Правильные формы (кристаллы, гемиморфные); неправильные и смешанные (изометричные, бесформенные, удлиненные и уплощенные)	Неправильные и смешанные (комковидные, сложно-комковидные, удлиненные и уплощенные); Редко правильные формы (кристаллы, дендриты и дендритоиды)
<b>Рельеф поверхности</b>	
Отпечатковый, ступени роста, неправильные наросты и зародыши кристаллов на гранях	Шероховато-бугристо-ямчатый, кавернозный; редко отпечатковый ребристо-ямчатый, ступенчатый,
<b>Проба, %</b>	
740-800 кварц-арсенидно-сульфидный комплекс, 925-985 кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый комплекс	925 до 995
<b>Ассоциирующие минералы</b>	
Тетрадимит, теллуровисмутит, цумоит, сульфиды и Co-Ni минералы, кварц и кальцит	Тетрадимит, теллуровисмутит, цумоит кварц и турмалин

ассоциирует с кварцем, тетрадимитом, теллуровисмутитом и турмалином, и образует сростания с этими минералами. Присутствие таких же сростаний в большинстве случаев характерно и для россыпей месторождения. Самородное золото, относящееся к кварц-арсенидно-сульфидному комплексу, в штокверковом теле ассоциирует и образует сростания с тетрадимитом, цумоитом, кварцем, сульфидами и кобальт-никелевыми минералами. Из сростаний, характерных только для этого комплекса, в россыпях изредка встречается лишь цумоит.

Таким образом, как видно из приведенного выше сравнения, наиболее важные типоморфные особенности коренного самородного золота, к которым

относятся размерность зерен, морфология, а также проба, набор и содержание элементов-примесей и минеральный состав сростаний, сохраняются в россыпях и, таким образом, являются показателями генетической связи россыпей с коренными источниками.

***Третье защищаемое положение.*** Источником для формирования россыпей месторождения Болотистого является кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый минеральный комплекс широко распространенный среди нижнемеловых терригенных пород в верхней надинтрузивной части золотоносного штокверка.

В кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовом комплексе она составляет 925-985 % и близка к пробе самородного золота из россыпей (925 до 995 %). Самородное золото относящееся к первому минеральному комплексу, ассоциирует с кварцем, тетрадимитом, теллуровисмутитом и турмалином, и образует сростания с этими минералами. Присутствие таких же сростаний в большинстве случаев характерно и для россыпей данного объекта. Проба самородного золота в кварц-арсенидно-сульфидном минеральном комплексе колеблется в пределах 740-800 %. Самородное золото в данном комплексе ассоциирует и образует сростания с тетрадимитом, цумоитом, кварцем, сульфидами и кобальт-никелевыми минералами. Из сростаний, характерных только для этого комплекса, в россыпях изредка встречается лишь цумоит. Следовательно, россыпи месторождения Болотистого сформировались за счет самородного золота кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитового минерального комплекса. На уровне современного эрозионного среза периферические части золотоносного штокверка, сложенные этим минеральным комплексом, лишь на небольшой площади дренируются россыпеобразующими ручьями Средним, Ключевым и Болотистым. Напротив, остальная часть штокверка, сложенная кварц-арсенидно-сульфидным минеральным комплексом, дренируется россыпеобразующими ручьями Средним, Ключевым и Болотистым на очень большой площади, но, несмотря на это, практически не участвовал в россыпеобразовании.

Это обстоятельство свидетельствует, очевидно, о резком уменьшении площади сечения интрузии габбро-диоритов с уменьшением уровня эрозионного среза, и, соответственно, об увеличении площади дренируемых руч. Средним, Ключевым и Болотистым терригенных пород, вмещающих золотое оруденение кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитового минерального комплекса.

Другими словами, этот факт указывает, с одной стороны, на небольшой эрозионный срез интрузии, а с другой – на то, что оруденение в интрузии сопровождалось ныне эродированным ареалом золотоносных жил и прожилков и в надинтрузивных терригенных породах нижнемелового возраста относительно небольшим по мощности, но значительным по площади. Таким образом, можно полагать, что в период формирования россыпей рудное тело представляло собой крупный штокверк, расположенный вне вскрытой эрозией интрузии габбро-диоритового состава. Он сопровождался ареалом золотоносных жил и прожилков в боковых и надинтрузивных терригенных породах раннемелового возраста. Дренажное верхнюю часть этого ареала, расположенной в надинтрузивных

терригенных породах, ручьями Средним, Ключевым и Болотистым и привело к образованию золотоносных россыпей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных детальных минералого-геохимических исследований оруденения месторождения Болотистого, относится к среднеглубинной золото-кварцевой формации. В рудах месторождения выделено два вещественных типа золоторудной минерализации – кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый и кварц-арсенидно-сульфидный.

Кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый минеральный тип характеризуется присутствием высокопробного самородного золота в ассоциации с теллуридами и сульфотеллуридами висмута (теллуровисмутит, цумоит и тетрадимит).

Особенностью второго, кварц-арсенидно-сульфидного минерального типа, является присутствие ассоциации низко-среднепробного золота с редкими минералами мышьяка (аллоклазит, данаит и глаукоdot), кобальта и никеля (ульманит и другие), висмута и теллура (цумоит и протожозеит).

Установлено, что основным источником питания россыпей послужил кварц-турмалин-золото-тетрадимит-теллуровисмутитовый минеральный тип.

Выявлены и изучены типоморфные особенности самородного золота от коренного источника до попадания в россыпи и далее его перемещения на протяжении несколько километров в россыпи.

Основные характеристики (гранулометрический состав, морфология, пробность, элементы-примеси, сростание золота с другими минералами) россыпного золота оказались информативными в отношении особенностей коренного источника питания россыпей.

Полученные типоморфные показатели рудного и россыпного золота, а также минералов-спутников золота могут быть использованы при прогнозировании, поисках и оценке золото-висмут-теллурового оруденения, ассоциирующего с габбродиоритовым интрузивным комплексом на Сихотэ-Алине.

## Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Иванов В.В., Замбрицкий А.И., Молчанова Г.Б., **Лотина А.А.** и др. Особенности минералогии золото-висмут-теллурового оруденения Сихотэ-Алиня // Современные проблемы металлогении: Материалы научной конференции посвященной 90-летию академика Х.М. Абдуллаева. Ташкент: ФАН АН РУз, 2002. С. 176-178.
2. Лотина А.А. Золотое оруденение бассейна руч. Болотистого (Северный Сихотэ-Алинь) // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XX Всероссийской молодежной конференции. Иркутск, 2003. С. 158-159.
3. Лотина А.А. Морфологические особенности самородного золота из аллювиальных отложений уч. Болотистого (Северный Сихотэ-Алинь) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 12-й научной конф. молодых ученых. Сыктывкар, 2003. С. 152-154.

4. Лотина А.А. Характеристика самородного золота из россыпей уч. Болотистого (Северный Сихотэ-Алинь) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 13-й научной конф. молодых ученых. Сыктывкар, 2004 г. С. 56-58.

5. Лотина А.А. Геология и минералогия золото-висмут-теллурического рудопоявления Болотистого (Северный Сихотэ-Алинь) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 14-й научной конф. молодых ученых. Сыктывкар, 2005 г. С. 89-91.

6. Лотина А.А. К вопросу о минералогии и геохимии Болотистого рудопоявления (Западный Сихотэ-Алинь) // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы региональной конф. молодых ученых. Владивосток, 2006. С. 33-34.

7. Лотина А.А. Исследование состава теллуридов висмута Болотистого рудопоявления (Западный Сихотэ-Алинь) // Федоровская сессия – 2006: Тезисы докладов международной научной конф. СПб, 2006. С. 189-191.

8. Лотина А.А. Золотоносные россыпи, связанные с золото-висмут-теллурическим оруденением (уч. Болотистый, Северный Сихотэ-Алинь) // Новые идеи в науках о Земле: Материалы VIII Международной конф. М.: РГГРУ, 2007. С. 138-140.

9. Иванов В.В., Колесова Л.Г., **Лотина А.А.** Минералы платиноидов в золотых россыпях западных отрогов Сихотэ-Алиня // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 16-й научной конф. Сыктывкар, 2007. С. 110-112.

10. Лотина А.А. Характер ассоциации минералов висмута Болотистого рудно-россыпного поля (Северный Сихотэ-Алинь) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 16-й научной конф. Сыктывкар, 2007 С. 149.

11. Лотина А.А. Золотое оруденение и россыпи Криничного и Болотистого рудно-россыпных полей (юг Дальнего Востока России) // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы 2-ой региональной конф. молодых ученых. Владивосток, 2008. С. 72-75.

12. Иванов В.В., Колесова Л.Г., Леснов С.В., **Лотина А.А.** Находка барофильных минералов в золотой россыпи западных отрогов Сихотэ-Алиня // Петрогенезис и рудообразования: XIV Чтения памяти А.Н. Заварицкого. Екатеринбург, 2009. С. 174-176.

13. Иванов В.В., Колесова Л.Г., Леснов С.В., **Лотина А.А.** Находка лерцолитсодержащих пикробазальтов (северо-западные отроги Центрального Сихотэ-Алиня) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 18-й научной конф. Сыктывкар, 2009. С. 75-78.

14. Иванов В.В., Колесова Л.Г., **Лотина А.А.**, Леснов С.В., Баринов Н.Н. и Кононов В.В. Шпинелиды из ассоциации барофильных минералов россыпного месторождения Болотистое (Центральный Сихотэ-Алинь) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 18-й научной конф. Сыктывкар, 2009. С. 79-81.

15. Лотина А.А. Висмут-теллурическая минерализация золоторудного проявления Болотистый (Западный Сихотэ-Алинь, ДВ России) // Электронный журнал "Исследовано в России". 2009. Т. 12. С. 968-977, <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2009/074.pdf>.

16. Лотина А.А. Особенности золото-висмут-теллурического оруденения участка Болотистого // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России: Материалы 3-ой региональной конф. молодых ученых. Владивосток, 2010. С. 58-60.

17. Лотина А.А. Золото-висмут-теллурическая минерализация участка Болотистого (Северо-Западный Сихотэ-Алинь) // Тихоокеанская Геология. 2011. Т. 30, № 1. С. 97-107.

18. Иванов В.В., Колесова Л.Г., Максимов С.О., Леснов С.В., **Лотина А.А.** и др. Барофильные минералы из золотой россыпи Болотистой (западные отроги Сихотэ-Алиня) как индикаторы геодинамической обстановки // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Всероссийская конф. с международным участием. Владивосток, 2011. С. 353-356.