

ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



На правах рукописи

МАРТЫНЕНКО ИРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОНОСНОЙ
КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОЛЬХОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(ВОСТОЧНЫЙ САЯН)**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата геолого-минералогических наук**

1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Томск - 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Мазуров Алексей Карпович

доктор геолого-минералогических наук,
профессор отделения геологии Инженерной
школы природных ресурсов Национального
исследовательского Томского политехнического
университета

Официальные оппоненты:

Страховенко Вера Дмитриевна

доктор геолого-минералогических наук, ведущий
научный сотрудник лаборатории геохимии
благородных и редких элементов Института
геологии и минералогии им. В.С. Соболева
Сибирского отделения Российской академии
наук, г. Новосибирск

Макаров Владимир Александрович

доктор геолого-минералогических наук,
профессор, заведующий кафедрой геологии
месторождений и методики разведки Сибирского
федерального университета, г. Красноярск

Защита состоится «28» ноября 2024 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.28 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2/5 (корпус 20, аудитория 504)



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте dis.tpu.ru при помощи QR-кода.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДС.ТПУ.28
к. г.-м. н., доцент



Рудмин М.А.

Актуальность исследований обусловлена необходимостью расширения и укрупнения минерально-сырьевого потенциала золотодобывающей промышленности России.

Промышленная добыча золота в районе начата в 1927 году трестом «Минусазолото». Всего за период с 1927 по 1995 год на месторождениях Ольховско-Чибижекского рудного узла добыто порядка 60 т золота. Из россыпей и кор выветривания золота, различных по генезису, возрасту и условиям залегания, добыто более 8,5 т золота. В начале XXI века наблюдался стремительный рост цены золота на мировом рынке, послуживший основной причиной активизации добычи этого металла, как в мире, так и в России. Данное обстоятельство привело к резкому сокращению минерально - сырьевой базы (МСБ) золота в районе.

В связи с этим, последнее время все больший интерес вызывают месторождения полезных ископаемых, связанные с формацией кор выветривания. Это обусловлено близповерхностным залеганием, высокой степенью дифференциации вещества, что способствует формированию промышленных концентраций целого ряда элементов.

Особое внимание уделяется золотоносным корам выветривания, которые представляют собой значительный сырьевой потенциал для развития золотодобывающей промышленности. Интерес к этим объектам определяется рядом причин: возможностью открытой разработки, отсутствием необходимости дробления руды, простой технологией и высокой экономической эффективностью извлечения золота при низких его содержаниях.

Целью настоящих исследований является получение новой информации о строении, зональности, минералого-геохимических особенностях и промышленной значимости исследуемых объектов, на предмет их потенциальной золотоносности. А также, выявление петрохимических критериев, определяющих условия повышенных концентраций золота в продуктах гипергенеза.

Задачи работы:

1. Изучить строение, зональность и минералого-геохимические особенности коры выветривания, развитых в пределах Ольховского месторождения,
2. Изучить гранулометрический состава продуктов остаточной коры выветривания и минералогический состав шлихов и рудных концентратов каждого класса крупности, изучить минеральный состав и структурные особенности исходных пород, а также провести определение содержаний золота и других элементов в каждой выделенной разности, определить состав и структурные особенности глинистых минералов кор выветривания,
3. На основе полученных данных выделить зоны с промышленными концентрациями золота по вертикальному профилю коры выветривания, определить геохимические критерии накопления золота в продуктах выветривания, установить характер изменения коэффициентов выветривания и зависимость между накоплением золота и значениями этих показателей в вертикальном профиле кор выветривания.

Фактический материал и методы исследования

В основе исследований лежат материалы, полученные сотрудниками отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ в результате работ по изучению кор выветривания Ольховско-Чибижекского района, собранные в период 2000-2005 гг. Графическими материалами послужили геологические планы, разрезы и колонки скважин, построенные по результатам поисково-оценочных работ в 1960-ых годах и в период с 2000 по 2005 гг. Для лабораторно-аналитических работ использовались пробы, отобранные из керна скважин (2000-2005 гг.), пробы из шурфо-скважин, а также, единичные, отобранные точечно, образцы из горных выработок для изучения минералогического состава коренных пород.

Значительная часть аналитических работ выполнялись на базе лабораторий Томского политехнического университета и в химико-аналитическом центре «Плазма», электронно-микроскопические и микроразностные исследования проводились в Институте геологии и минералогии СО РАН. Пробоподготовка осуществлялась на базе отделения геологии инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета (НИ ТПУ) в «Оптико-шлифовальной» лаборатории (зав. лабораторией С.М. Сваровский) и лаборатории «Геологии золота» (зав. лабораторией А.Я. Пшеничкин). Гранулометрический анализ проб осуществлялся методом «мокрого» ситования при помощи стандартного набора сит. Выделение тонкодисперсной глинистой фракции производилась путем отмучивания образца в дистиллированной воде по общепринятой методике пипеточным методом.

Минералого-петрографические исследования выполнялись следующими методами: оптическая микроскопия (ПОЛАМ Р-312 и Olympus BX53F), минералогический анализ (бинокляр МСП-1), рентгенофлуоресцентная микроскопия (HORIBA XGT-7200, 42 образца), растровая электронная микроскопия (SEM на приборе Jeol-100С с энергодисперсионной приставкой Kevey Ray (институт геологии и минералогии СО РАН) и СЭМ Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010, аналитик С.С. Ильенок НИ ТПУ), микрорентгеноспектральный анализ (микроразност MS-46 «Самса», Институт геологии и минералогии СО РАН), термический анализ (SDT Q600, НИ ТПУ, оператор Т.П. Морозова, 180 проб), рентгеноструктурный анализ (Институт геологии и минералогии СО РАН, оператор д.г.-м.н. Э.П. Солотчина, 11 проб).

Химический состав пород устанавливался методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS, оборудование ELAN модель RDS-e, аналитик Т.А. Филипас, Центр «Плазма», 90 проб) и рентгенофлуоресцентным анализом (НИ ТПУ). Геохимические исследования основывались на изучении устойчивых ассоциаций петрогенных элементов, а петрохимическая характеристика процессов корообразования базировалась на определении коэффициентов выветривания.

Основные защищаемые положения

1. Коры выветривания, развитые в пределах Ольховского месторождения относятся к остаточным и переотложенным. Остаточные коры представлены линейным и линейно-площадным типами и характеризуется развитием полного профиля выветривания, в составе которого выделяются три основные зоны (снизу вверх): дресвяно-щебнистая, монтмориллонит-гидрослюдистая и охристо-каолиновая. Образования переотложенной коры выветривания характеризуются отсутствием минералогической зональности.

2. Элювиальные руды формировались за счет слабо золотоносных гидротермально-измененных горных пород, путем растворения и переотложения золота. Гипергенное золото имеет высокопробный состав, при среднем 995‰, отлагается на поверхности частиц первичного рудного золота, а также образует колломорфные, эмульсионные и нитевидные сростания с окислами и гидроокислами железа, для него характерны неправильные морфологические формы.

3. Промышленные концентрации золота в остаточной коре выветривания приурочены, в основном, к нижней части верхней охристо-каолиновой зоны. Эта часть зоны характеризуется максимальными значениями коэффициента ферритизации, аллитизации и коэффициента окисления и минимальными значениями коэффициента выщелачивания.

Научная новизна

Впервые, в пределах Ольховского месторождения, проведено детальное минералогическое изучение золотоносных кор выветривания. На основе выполненных исследований сделан вывод о генезисе, составе, строении и зональности коры

выветривания Ольховского месторождения. Изучен минералогический состав шлихов и глинистой составляющей, определены петрографические разности исходных пород. Установлен источник коренного рудного золота. Определены геохимические особенности выделенных зон коры выветривания. Определены содержания золота и других элементов в каждой разности метасоматитов, гранитов и других исходных пород, за счет которых происходило корообразование. Также впервые в гематитовых агрегатах и лимонитизированных обломках кварца из остаточной коры выветривания было обнаружено самородное йодистое серебро – йодаргирит.

Практическая значимость

Установленные автором закономерности формирования золотого оруденения и его минералогические особенности могут быть использованы предприятиями, ведущими поисковые и оценочные работы в Ольховско-Чибихекском рудном узле с целью выделения перспективных площадей.

Выделение промышленно значимых участков и горизонтов позволяют более эффективно планировать извлечение полезного компонента, даже при низких его содержаниях.

Изучение минералогического и гранулометрического состава продуктов коры выветривания, определение состава и классов крупности самородного золота могут служить исходными данными для разработки технологической схемы переработки руд.

Личный вклад автора.

Лично выполнены следующие работы: отбор образцов в полевых условиях для изучения коренных пород; гранулометрический анализ объемных проб, отобранных из шурфо-скважин; минералогический анализ шлихов каждого класса крупности, макро- и микроскопическое описание исходных пород, а также образцов крупной фракции; рентгенофлуоресцентный анализ; электронная микроскопия руд; интерпретация результатов термического анализа и рентгеноструктурного анализа; обработка геохимических данных, формулировка научных выводов и прогнозно-поисковых критериев.

Апробация работы и публикации.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на конференциях различного уровня: XII, XIII, XVI, XXVIII Международных симпозиумах имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2008, 2009, 2012, 2024 г.); международной конференции студентов, аспирантов, и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2011г), XIV международном совещании «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения» (Новосибирск, 2010), Первой Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче» (Москва, 2020). Также результаты диссертационных исследований рассматривались на научных семинарах кафедры геологии и разведки полезных ископаемых ТПУ. По итогам XVI международного симпозиумов имени академика М.А. Усова, доклад автора отмечен Дипломом первой степени.

По теме исследований автор принимал участие в гранте РФФИ № 18-45-700019.

Диссертационные исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0010).

По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 3 в журналах, входящих в перечень ВАК и базу данных SCOPUS.

Структура работы.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы в количестве 146 наименований. Объем диссертации составляет 130 страницы текста, работа содержит 35 иллюстрации и 5 таблиц.

Во введении обсуждается актуальность работы, цели и задачи, научная новизна, фактический материал и методы исследований, научная и практическая значимость диссертации.

В первой главе представлен обзор степени изученности и современное состояние проблемы корообразования. Состояние и степень изученности Ольховско-Чибижекского района на рудное и россыпное золото.

Во второй главе рассмотрена методика и методы исследований.

В третьей главе дана характеристика геологического строения Ольховского месторождения, дана характеристика метасоматическим изменениям.

В четвертой главе рассмотрены коры выветривания Ольховско-Чибижекского района. Представлены особенности состава и строения, петро-геохимическая характеристика и особенности золота в корах выветривания Ольховского месторождения.

В заключении сделаны выводы и сформулированы итоги проведенных автором исследований.

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском Томском политехническом университете под руководством профессора, доктора геолого-минералогических наук Мазурова А.К.

Благодарности

Автор выражает особую благодарность научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору отделения геологии ИШПР НИ ТПУ Алексею Карповичу Мазурову за всестороннюю помощь и высокий профессионализм при руководстве диссертационной работы. За ценные советы и консультации автор глубоко признателен д. г.-м. н. В.Г. Ворошилову, к.г.-м.н. Т.В.Тимкину, д.г.-м.н. Ю.С. Ананьеву, к.г.-м.н. А.Я. Пшеничкину, к.г.-м.н. Л. А. Краснощековой

За постоянную поддержку и помощь при написании диссертации автор благодарит своих коллег, сотрудников ОГ ИШПР ТПУ.

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Коры выветривания, развитые в пределах Ольховского месторождения относятся к остаточном и переотложенным. Остаточные коры представлены линейным и линейно-площадным типами и характеризуется развитием полного профиля выветривания, в составе которого выделяются три основные зоны (снизу вверх): дресвяно-щебнистая, монтмориллонит-гидролюдистая и охристо-каолиновая. Образования переотложенной коры выветривания характеризуются отсутствием минералогической зональности.

Золото является одним из ведущих полезных ископаемых Восточного Саяна, а Ольховско-Чибижекский золоторудный район является одним из старейших центров золотодобычи в Сибири.

Ольховско-Чибижекский рудный район занимает северо-западную окраину Восточного Саяна и располагается в пределах Кизир-Казырской структурно-формационной зоны Восточного Саяна, которая на северо-востоке имеет тектонический контакт с байкалидами Дербинской структурно-формационной зоны, на западе ограничивается Минусинским межгорным прогибом девонского возраста, а на юго-западе, через Кандатский глубинный разлом граничит со структурами Западного Саяна. Для него характерен двухъярусный геологический разрез: нижний ярус представлен нижнекембрийскими карбонатными, а верхний – вулканогенными толщами,

прорванными интрузивными образованиями Ольховского габбро-диорит-гранодиоритового и Беллыкского гранитоидного комплексов, которые образуют крупные и удлинённые в плане батолитовые массивы (Рис. 1).

Главной геотектонической структурой района является Артемовская мегантиклиналь, которая простирается в северо-западном направлении на 120 км. В строении мегантиклинали принимают участие в восточной части верхнепротерозойские метаморфические сланцы кувайской серии и существенно карбонатные отложения овсиниковской свиты. В западной части развиты кембрийские вулканогенно-осадочные образования колпинской (песчано-сланцевые нижнекембрийские), балахтисонской или чибижекской (конгломераты, известняки, доломиты), осиновской (туфогенные породы) и кизирской (вулканические породы) свит.

На всей территории Восточного Саяна рыхлые отложения, к которым приурочены древние россыпи, представлены: а) образованиями древней коры выветривания на коренных породах и на древних аллювиальных и делювиальных отложениях; б) переотложенными продуктами коры выветривания; в) аллювиально-делювиальными отложениями древних долин, не затронутыми химическим выветриванием. Первичное оруденение представлено метасоматически изменёнными сульфидными залежами и умеренно-сульфидными маломощными кварцевыми телами жильного и штокверкового типов, которые локализируются, главным образом, в гранитоидах. Умеренно-сульфидные кварцевые жилы имеют сравнительно небольшое распространение. Минеральный состав первичного оруденения: кварц, карбонаты, сульфиды, в том числе пирит, в незначительном количестве пирротин, золото.

На изучаемой площади довольно широко развиты рыхлые отложения меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем. При этом, образования палеоген-неогенового возраста в большинстве сохранились в пределах молодых впадин, а также на обрывах террас высоких уровней (выше 50 м). К образованиям верхнемелового возраста с некоторой условностью относятся дресвяно-щебеночно-глинистые осадки, сохранившие структуру материнских пород, являющиеся субстратом палеогеновых отложений. Мощность рыхлых образований не постоянна и меняется в зависимости от типа рельефа. На большей части площади района мощность рыхлого покрова не превышает 5...10 м, но на отдельных участках достигает 100 и более метров.

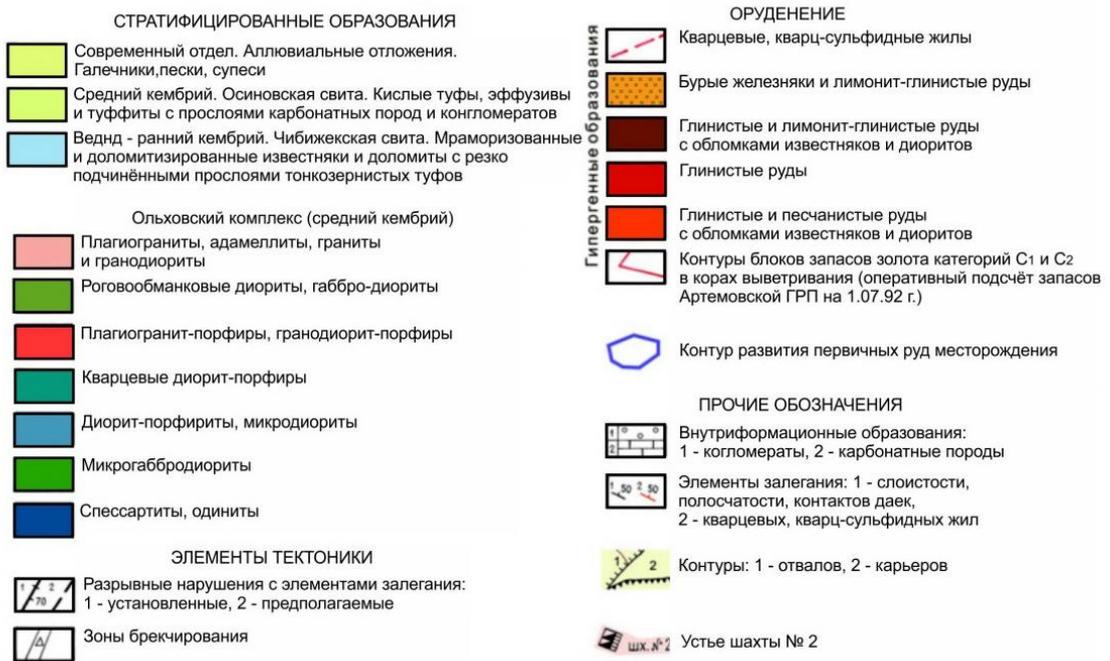
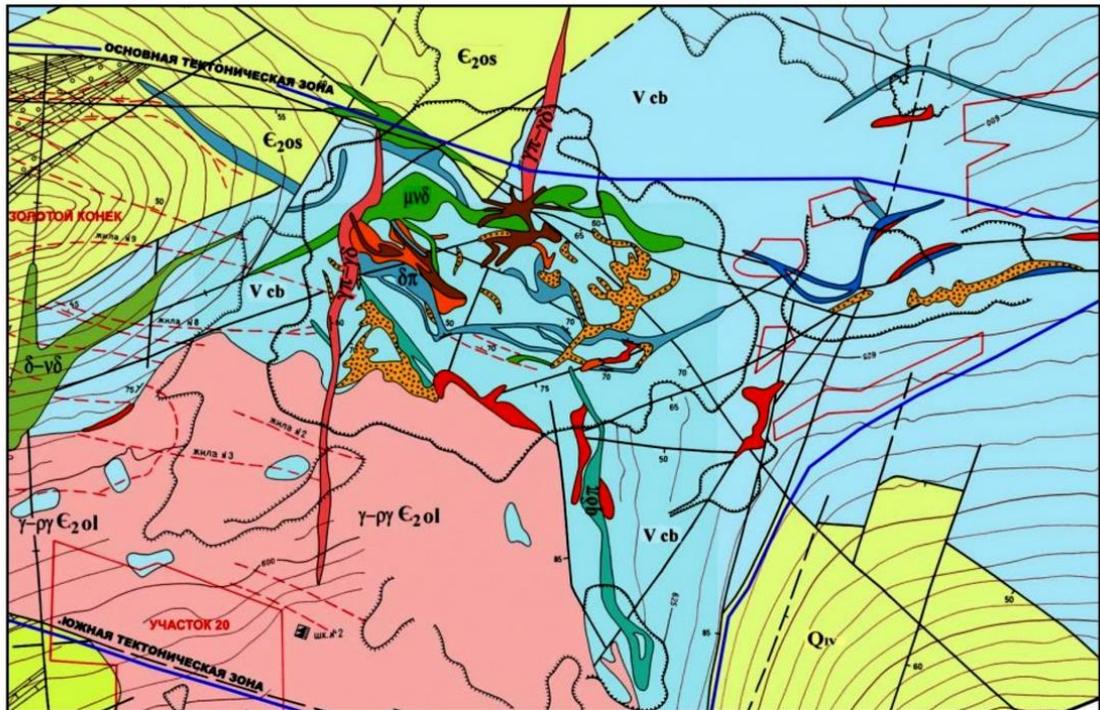


Рисунок 1. Схематическая геологическая карта Ольховского месторождения. По материалам Артемовского ГРП с дополнениями автора.

Остаточные коры выветривания мел-палеогенового возраста на изучаемой площади района пользуются широким распространением, развиты по кислым породам ольховского комплекса и карбонатным образованиям чибижевской свиты. Наиболее развиты коры выветривания каолинового и гидрослюдисто-каолинового состава. По условиям залегания, в пределах района, выделяются линейная и линейно-площадная коры, с преобладанием кор выветривания линейного типа. Продукты выветривания сложены глинистым и песчано-глинистым материалом. Эти отложения в значительной

степени лимонитизированы и карбонатизированы, местами в них присутствуют железистые и железо-марганцевые конкреции.

Остаточная кора выветривания, сформированная на гранитах и гранодиоритах, традиционно, характеризуется развитием полного профиля выветривания, в составе которого выделяются три основные зоны (снизу вверх):

1. дресвяно-щебенистая зона;
2. монтмориллонит-гидроослюдистая с каолинитом;
3. каолиновая с охристыми включениями гидроокислов железа и марганца.

Нижняя – дресвяно-щебенистая зона полностью сохраняет структуру материнских пород и сложена дресвой желтоватого и серого цвета. Макроскопически фиксируются буровато-желтыми, желтоватыми, красно-бурыми глинисто-сахаристыми элювиальными образованиями, крупные обломки жильного кварца, местами лимонитизированного. По результатам петрографического изучения установлено, что дресвяная фракция представлена кварц-альбит-хлорит-серицитовыми, кварц-альбит-эпидот-хлоритовыми, кварц-мусковитовыми и кварц-амфиболитовыми, кварц-карбонат-мусковитовыми метасоматитами, образованными за счет магматических пород кислого и среднего состава, выветрелыми гранитами, диоритами с кварц-карбонатными прожилками, содержащими рудную минерализацию.

Глинистая фракция, изученная с помощью термического рентгеноструктурного анализов, содержит гидроослюды с незначительной примесью монтмориллонита. Вскрытая мощность зоны составляет 2–3 м.

Монтмориллонит-гидроослюдистая зона представлена дресвяно-песчано-глинистыми образованиями желтовато-бурого цвета с сохранившимися текстурно-структурными особенностями исходных пород. Гранулометрический состав продуктов монтмориллонит-гидроослюдистой зоны следующий: дресвяная фракция – 30 %, песчаная – 9 %, алевролитовая – 3 % и глинистая фракция – 58 %. Мощность зоны от 10–12 до 20 метров. Дресвяная фракция состоит из обломков интенсивно выветрелых пород и кварца, покрытого пленкой гидроокислов железа и марганца, реже гематита. Песчаная и алевролитовая фракции, по данным минералогического анализа, содержит кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, магнетит, гематит и гидроокислы железа, часто в виде псевдоморфоз по кубическим и пентагон-додекаэдрическим кристаллам пирита, редко ильменит и рутил. В незначительном количестве присутствует, хлоритоид, шпинель, корунд, циркон, единичные знаки марганцевых минералов и самородного золота. Среднее содержание золота по результатам атомно-абсорбционного анализа в песчаной фракции составляет 0,3 г/т, в алевролитовой фракции – 0,12 г/т. Глинистая фракция представлена гидроослюдой – гидромусковитом и вермикулитом, монтмориллонитом, нонтронитом, и смешаннослойными хлорит-монтмориллонитовыми образованиями. Местами фиксируется незначительное количество талька менее 5% от общей массы пелитовой фракции, что, возможно, связано с метасоматическими изменениями доломитизированных известняков чибихекской свиты.

Охристо-каолиновая зона представлена глинистыми образованиями преимущественно каолинового состава. Порода имеет светло-коричневую до темно-бурой окраску. Местами отмечаются ярко окрашенные охры бурого и красно-бурого цвета. Гранулометрический анализ продуктов выветривания этой зоны показывает, что дресвяная фракция составляет 20 %, песчаная – 11 %, алевролитовая – 7 % и глинистая фракция – 62 %. Дресвяная фракция представлена крупными обохренными обломками кварца, гематитом, реже обломками интенсивно выветрелых материнских пород – кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-хлоритовых метасоматитов, образованных за счет пород среднего и кислого состава. По результатам атомно-абсорбционного анализа с

термической атомизацией раствора среднее содержание золота в кварце составляет 24,7 г/т, в отдельных пробах достигает 114 г/т. Среднее содержание золота в гематите 2,2 г/т. В песчаной и алевролитовой фракциях преобладают обломки кварца обожженного, полевого шпата, редкие знаки серицитизированных плагиоклазов, слюды. Из тяжелых минералов преобладают магнетит, гематит, гидроокислы железа, в том числе и псевдоморфозы по пириту, циркон (гиацинт) и самородное золото. Шлиховое золото характеризуется преимущественно неправильной комковидной, иногда пластинчатой формами. Частицы золота, по гранулометрическому составу, согласно классификации Н.В. Петровской относятся к видимому весьма мелкому и тонкому. Размер зерен от 0,2 до 0,05 мм, редко до 0,5мм. Содержание золота в песчаной фракции колеблется от 0,093 до 2,2 /т, в среднем составляет 1,2 г/т. Редкие и единичные знаки – ильменит, рутил, марганцевые минералы, хлоритоид, корунд, шпинель. Глинистые минералы представлены, главным образом, каолинитом с некоторой примесью гидрослюда со следами иллита и смешаннослойных иллит-сметитов (монтмориллонита).

Отличительной особенностью коры выветривания является преобладание минералов тонкодисперсной, глинистой фракции. Гранулометрический состав продуктов коры выветривания представлен в табл. 1.

Наиболее распространенными глинистыми минералами коры выветривания являются минералы группы гидрослюд, каолинита, смектита – монтмориллонита и нонтронита, смешаннослойные иллит-монтмориллонитовые и хлорит-монтмориллонитовые образования.

Группа гидрослюд представлена, главным образом, гидромусковитом и, в меньшей степени, вермикулитом. В продуктах коры выветривания данные минералы встречаются в виде мелких серебристых чешуек, преимущественно, в тонкодисперсной фракции. Минералы группы гидрослюд обнаружены в большинстве изученных образцов, и, нередко, содержатся в значительных количествах, в среднем превышая 5%. Помимо этого, в значительной части образцов, помимо собственно гидрослюдистых минералов встречаются смешаннослойные образования иллит-монтмориллонитового состава.

Таблица 1. Гранулометрический состав продуктов коры выветривания гранитов

Фракция, мм	Выход фракций, %			
	Охристо-каолиновая зона	Монтмориллонит-гидрослюдистая зона		Дресвяно-щебенистая зона
		Хлорит-монтмориллонитовая подзона	Подзона гидрослюд	
+10	6,8	10,4	23,8	28,3
-10+5	3,4	4,6	5,2	10,4
-5+3	3,8	5,4	4,7	6,2
-3+2	2,6	4,2	3,0	5,3
-2+1	2,5	3,8	2,1	4,0
-1+0,5	3,7	3,1	3,4	6,7
-0,5+0,2	5,7	5,6	4,3	8,7
-0,2+0,112	4,0	5,8	3,2	7,0
-0,112+0,040	5,1	6,7	5,6	2,8
-0,04	62,4	50,4	44,7	20,6
Сумма	100	100	100	100

Группа каолинита представлена одним минералом - каолинитом.

Каолинит широко распространен в корях выветривания с развитым полным профилем, но наибольшее распространение получил в охристо-каолиновой зоне, а также в переотложенных продуктах. Минерал буроватого и буро-красного цвета, что объясняется примесью окислов и гидроокислов железа.

Группа монтмориллонита представлена двумя минералами – монтмориллонитом и его железистой разновидностью - нонтронитом. Смешаннослойные образования монтмориллонит-хлоритового состава достоверно фиксируются на рентгенограммах, термический анализ не дает четких представлений о присутствии следов смешаннослойных образований, т.к происходит наложение термоэффектов других минералов.

Минеральный состав продуктов выветривания по зонам разреза приведен в табл.2.

Таблица 2. Минеральная зональность и состав золотоносной коры выветривания, образованной в кислых и средних породах Ольховского комплекса

Фракция, мм	Охристо-каолиновая зона	Монтмориллонит-гидрослюдистая зона	Дресвяно-щебенистая зона
Дресвяная, +1,0	Обохренные обломки кварца, гематита, реже обломки интенсивно выветрелых материнских пород – кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-хлоритовых и кварц-мусковитовых метасоматитов.	Обломки выветрелых кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых, кварц-амфиболитовых метасоматитов и кварца, который покрыт пленкой гидроокислов железа и марганца, реже гематита.	Обломки кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых и кварц-амфиболитовых метасоматитов, и продукты их разложения.
Песчаная, -1,0...+0,1	<i>Минералы тяжелой фракции</i> – магнетит (7 %), мартит и мушкетовит (7 %), гематит (4 %), гидроокислы железа (20 %), амфиболы (роговая обманка, актинолит) (5 %), циркон (гиацинт) (5 %), золото (9 зн.), ед. знаки – ильменит, пирит и псевдоморфозы лимонита по пириту, марганцевые минералы, хлоритоид, шпинель, корунд, рутил, анатаз. <i>Легкая фракция</i> – обломки обохренного кварца (30 %), серицитизированный плагиоклаз (15 %), калиевые полевые шпаты (6 %), карбонаты (1%).	<i>Минералы тяжелой фракции</i> – магнетит (5 %), гематит и гидроокислы железа, часто в виде псевдоморфоз по кубическим и пентагон-додекаэдрическим кристаллам пирита (15 %), амфиболы (10 %), редко ильменит и рутил. В незначительном количестве присутствует, хлоритоид, шпинель, корунд, циркон, эпидот, единичные знаки марганцевых минералов, и самородного золота (3 зн.). <i>Легкая фракция</i> – кварц (35 %), плагиоклазы (15 %), полевые шпаты и слюды (15 %).	<i>Минералы тяжелой фракции</i> – магнетит (10 %), гематит, гидроокислы железа, в том числе и псевдоморфозы по пириту (5 %), амфиболы (15 %) циркон (гиацинт) (5 %) золото (1 зн.). Редкие и единичные знаки – ильменит, рутил, барит, марганцевые минералы, хлоритоид, корунд, шпинель. <i>Легкая фракция</i> – кварц (40 %), калиевого полевого шпата (5 %), серицитизированные плагиоклазы (15 %), слюды (10 %).
Алевролитовая, -0,1...+0,01	<i>Минералы тяжелой фракции:</i> магнетит, мартит и магнитные шарики (20 %), гематит, лимонит, окислы и гидроокислы железа (23 %), циркон (гиацинт) (5 %), золото (12 зн.), ед. знаки – ильменит, пирит, лимонитизированный пирит, шпинель (черная), рутил, анатаз, монацит. <i>Легкая фракция</i> – кварц (25 %), плагиоклазы (10 %), полевые шпаты и слюды (5 %).	<i>Минералы тяжелой фракции</i> – магнетит, мартит, магнитные шарики (15 %), гематит, гидроокислы железа и пентагон-додекаэдрический и кубический лимонитизированный пирит (10 %), амфиболы – актинолит (7 %), рутил, анатаз (3 %), циркон (гиацинт) (3 %), ед. зн – ильменит, корунд, рутил, шпинель, шпинель (черная), пирит, золото (10 зн.). <i>Легкая фракция</i> – кварц (30 %), полевые шпаты (20 %), слюды (10 %).	<i>Минералы тяжелой фракции</i> – магнетит и мартит (5 %), гематит (3 %), гидроокислы железа и псевдоморфозы лимонита по пириту (5 %), амфиболы (роговая обманка, актинолит) (20 %), циркон (8 %), ед. знаки – корунд, шпинель, марганцевые минералы. <i>Легкая фракция</i> – кварц (30 %), полевые шпаты (20 %), слюды (9 %).
Пелитовая, -0,01	Кальцит, кварц, каолинит, разупорядоченный смектит, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, иллит, гематит, гетит.	Гидрослюда – гидромусковит и вермикулит, монтмориллонит и смешаннослойные хлорит-монтмориллонитовые образования.	Кальцит, присутствуют кварц, разупорядоченный смектит, иллит, плагиоклаз, кпш, следы гематита, доломита, ангидрита.

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Элювиальные руды формировались за счет слабо золотосных гидротермально-измененных горных пород, путем растворения и переотложения золота. Гипергенное золото имеет высокопробный состав, при среднем 995%, отлагается на поверхности частиц первичного рудного золота, а также образует коллоидные, эмульсионные и нитевидные сростания с окислами и гидроокислами железа, для него характерны неправильные морфологические формы.

Первоначальным источников золотого оруденения в коре выветривания явились прожилково-вкрапленные минерализованные зоны, содержащие рудную минерализацию. В результате проведенных петрографических исследований установлено, что дресвяная фракция представлена кварц-альбит-хлорит-серицитовыми, кварц-альбит-эпидот-хлоритовыми, кварц-мусковитовыми и кварц-амфиболовыми, кварц-карбонат-мусковитовыми метасоматитами, образованными за счет магматических пород кислого и среднего состава, выветрелыми гранитами, диоритами с кварц-карбонатными прожилками, содержащими рудную минерализацию (рис.2, 3).

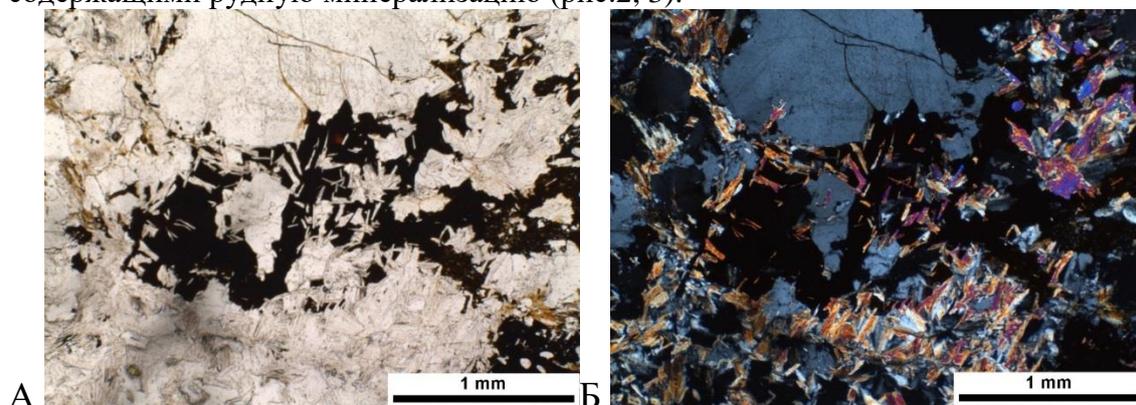


Рисунок 2. Зоны березетизации. Кварц слюдяные метасоматиты с рудной минерализацией. А – без анализатора, Б – с анализатором

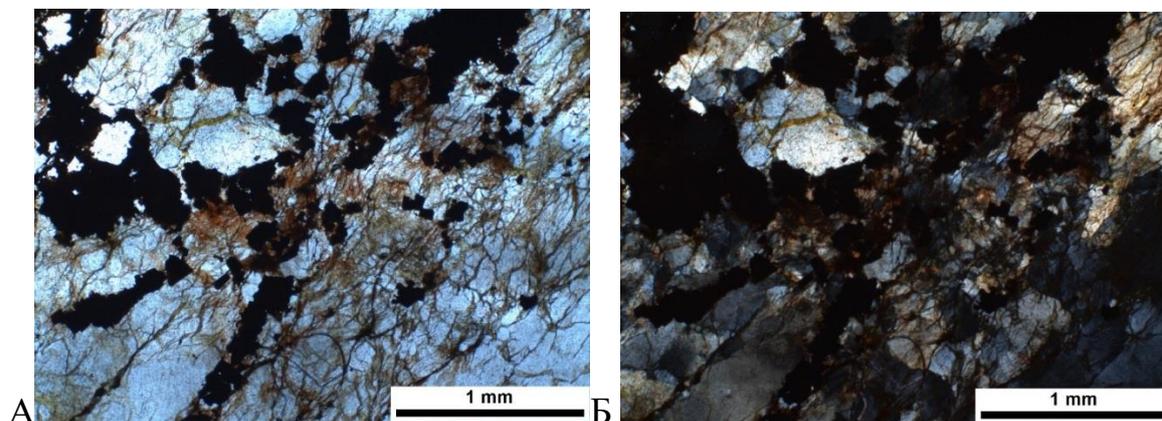


Рисунок 3. Кварцевый прожилок с рудной минерализацией. А - без анализатора, Б – с анализатором.

В целях изучения особенностей золота коры выветривания, его морфологии, характера поверхностей и контактов с другими зернами было проведено изучение золота с использованием электронной микроскопии. Электронно-микроскопические исследования выполнены методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) на приборе Jeol-100С с энергодисперсионной приставкой Kevex-Ray, позволяющей качественно оценить состав минералов. В процессе исследований проводилась съемка деталей поверхности и границ зерен, а также качественное определение состава по всей площади зерен и в точках, которые предварительно были намечены в процессе изучения под биноклем. Особое внимание

уделялось разнообразным включениям в золоте, визуально наблюдаемым неоднородностям и т.п.

На заключительном этапе исследований были сделаны микрондзовые анализы для выявления количественных соотношений между золотом и элементами-примесями (среди элементов-примесей определялись медь, серебро и ртуть). Золото анализировалось в полированных шашках микрорентгеноспектральным анализом на микронзонде MS-46 “Самеса”.

В результате проведенных исследований установлено, что пробность золота в коре выветривания колеблется в широких пределах, однако преобладает среднепробное и умеренно высокопробное (рис.4 А.). Исключением является вторичное гипергенное золото, которое имеет весьма высокопробный и высокопробный состав, в среднем составляя 995‰ (рис.4Б). Основным элементом примесью являются серебро. Ртуть обнаружена в единичных пробах золота при максимальных значениях 0,5 мас. %, содержание меди в золоте ниже предела чувствительности прибора (<0,08 мас.%).

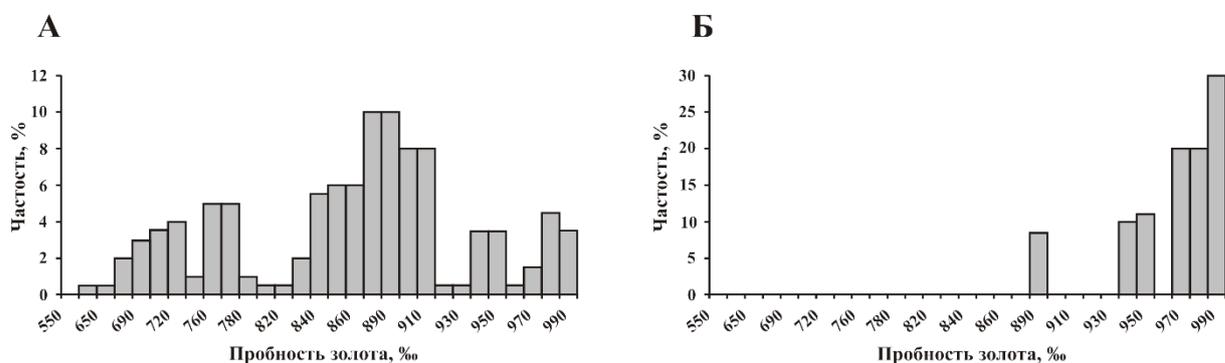


Рисунок 4. Гистограмма пробности первичного (А) и вторичного (Б) золота коры выветривания

По результатам проведенных электронно-микроскопических исследований можно выделить три основных морфологических типа золота: идиоморфное, гимидиоморфное и неправильное (Рис.5). Идиоморфное золото характеризуется кристаллоподобными, изометричными формами. Гимидиоморфное представлено проволоковидными индивидами и уплощенными кристалломорфными агрегатами, часто с пластинчатым строением и скульптурой роста, выражающейся в линейной ступенчатости. Неправильные формы золота – ксеноморфные, трещинные, прожилковые, интерстициальные выделения нитевидного облика. Эти формы характерны для вторичного гипергенного высокопробного золота, которое образует колломорфные нитевидные сращения с железистой массой, а также отмечается в виде пластинчатого нарастания на изометричных зернах кристаллоподобного золота.

Признаки гипергенного преобразования золота в коре выветривания фиксируются довольно часто. Выражаются они в структурах растворения, с выносом основных элементов-примесей, и образовании вторичного высокопробного золота.

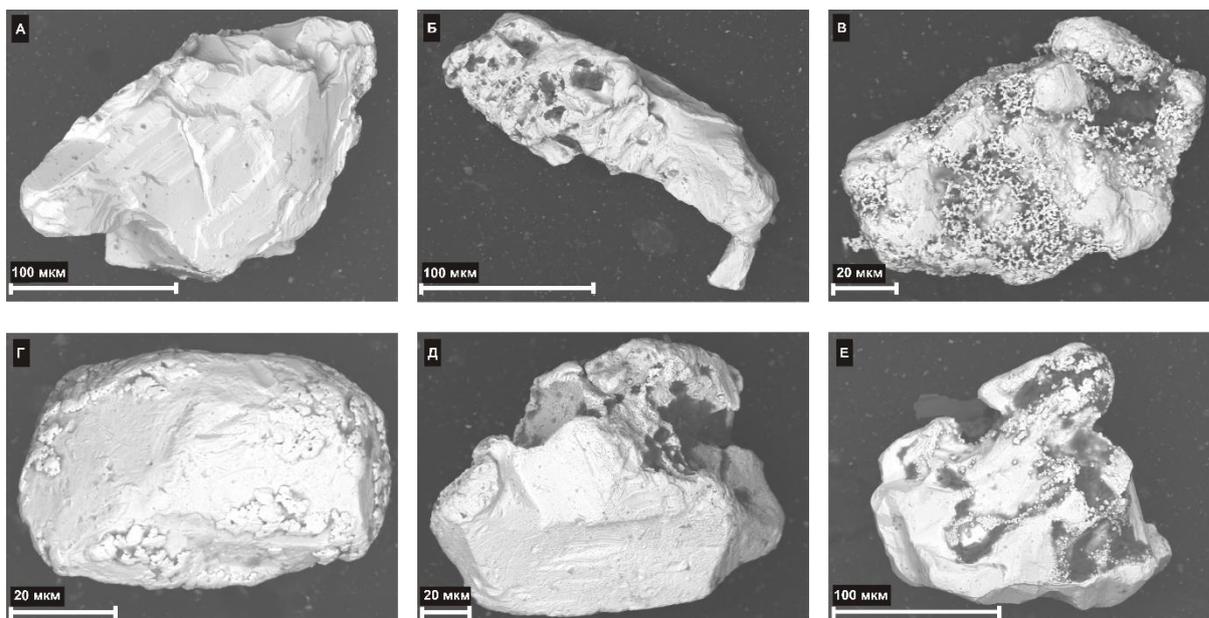


Рисунок 5. Морфология золота коры выветривания. Снято на сканирующем электронном микроскопе.

А – гемиидиоморфное золото с послойным пластинчатым строением, Б – проволоковидное золото с участками разноориентированного ступенчатого рельефа, В - кристалломорфное золото в обрамлении дендритовидных агрегатов гипергенного высокопробного золота, Г – кристаллоподобное золото с пластинчатыми нарастаниями вторичного гипергенного золота, Д - структура ямчатого растворения изометричного кристалла золота, Е - кристаллическое золото с признаками растворения на гранях и нарастание на них мелких единичных кристаллов золота и их сростков.

Помимо видимого золота в остаточной коре выветривания было установлено наличие тонкодисперсного золота. Минераграфические исследования показали, что золото образует коллоидные, эмульсионные и нитевидные сростания с окислами и гидроокислами железа, реже марганца (Рис.6.). Эти данные позволяют предположить, что в образовании повышенных концентраций золота важную роль играет щелочной геохимический барьер, представляющий собой смену кислых условий щелочными, где вместе с золотом концентрируется железо и марганец в окисной и гидроокисной форме.

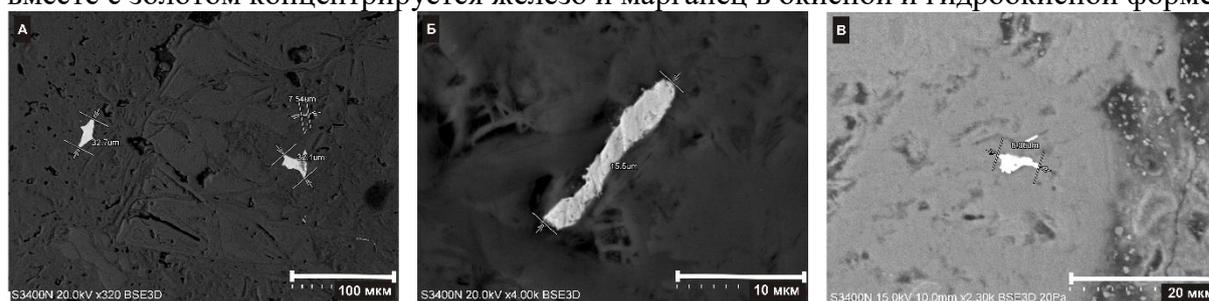


Рисунок 6. Электронно-микроскопические снимки гематитовых агрегатов и зерен (серое) с включениями тонкодисперсного коллоидного и нитевидного золота (белое).

Кроме золота в зернах гематита и лимонитизированных обломках кварца было обнаружено самородное йодистое серебро – йодаргирит. Располагается серебро в виде тонких гибких пластинок в лимонитизированных прожилках.

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Промышленные концентрации золота в остаточной коре выветривания приурочены, в основном, к нижней части верхней охристо-каолиновой зоны. Эта часть зоны характеризуется максимальными значениями коэффициента ферритизации, аллитизации и коэффициента окисления и минимальными значениями коэффициента выщелачивания.

С целью геохимической характеристики выделенных зон коры выветривания в вертикальном профиле было проведено количественное определение основных породообразующих элементов по профилю коры выветривания методом масс-спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой.

При математической обработке полученных результатов было установлено, что остаточные коры выветривания в геохимическом отношении характеризуются накоплением оксидов железа и марганца на фоне выноса щелочных элементов по отношению к материнскому субстрату, и только в охристо-каолиновой зоне, сформированной коры, отмечаются повышенные значения калия. С увеличением степени гипергенной проработки увеличиваются содержания оксидов железа и марганца, достигая максимальных значений в верхней охристой зоне.

Изучение химического состава пород по профилю коры выветривания позволило установить главные ассоциации элементов и их пространственное распределение.

Факторным анализом было выделено три устойчивые ассоциации петрогенных элементов, путем вычисления матрицы факторных нагрузок (таблица 3).

Таблица 3. Матрица факторных нагрузок

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Na	-0,03	-0,88	-0,16
Mg	-0,04	0,07	0,93
Al	0,64	-0,13	0,01
K	0,35	-0,84	-0,10
Ca	0,30	0,22	0,42
Ti	0,91	0,01	-0,08
Mn	-0,11	0,72	-0,44
Fe	-0,72	0,44	-0,31
Zr	0,36	-0,18	0,01
Ag	-0,64	0,41	0,31
Общ.дис.	2,51	2,46	1,31

Первый фактор характеризуется повышенной положительной корреляционной связью алюминия, циркона и титана. Эта ассоциация малоподвижных или устойчивых элементов, содержание которых по профилю выветривания практически одинаково и составляет от 0,016 до 0,071 мас. % при среднем значении 0,012 мас.% для циркона, и от 0,1 до 0,67 мас.% при среднем 0,0446 для титана соответственно. Второй фактор указывает на тесную взаимосвязь железа, марганца, золота и серебра. Эти элементы характерны для верхней, наиболее измененной выветриванием, охристо-каолиновой зоны, где происходит накопление оксидов железа и марганца, а золото в виде тонкой механической примеси установлено в зернах гематита. Магний и кальций входят в состав третьей ассоциации, которая характеризует среднюю монтмориллонит-гидрослюдистую зону. Эти элементы освобождаются при выветривании исходных пород и лишь в нижней части зоны задерживаются в составе некоторых глинистых минералов, затем выносятся.

Пространственные взаимоотношения петрогенных элементов по профилю коры выветривания показаны на рис.7.

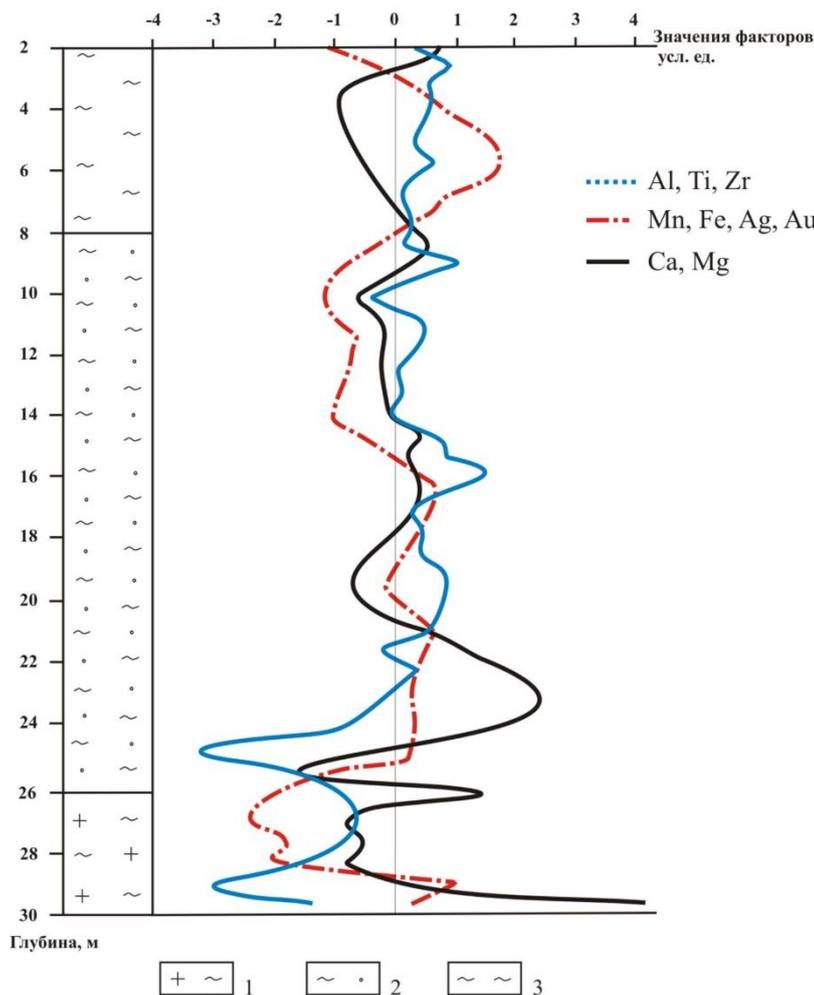


Рисунок 7. Пространственные взаимоотношения ассоциаций петрогенных элементов по профилю коры выветривания. Зона: 1) – дресвяно-щебенистая зона, 2) - монтмориллонит-гидрослюдистая зона, 3) – охристо-каолиновая зона

Коры выветривания, приуроченные к полям развития карбонатных образований Чибижекской свиты по составу относятся к каолиновому и каолинит-гидрослюдистому типу. Этот профиль не имеет четкой минералогической вертикальной зональности. В нижней части коры выветривания доминирующая роль принадлежит минералам – гидрослюде и монтмориллониту. Далее вверх по разрезу с возрастанием степени выветривания пород увеличивается количество каолиновой составляющей. Дресвяная фракция представлена обломками пород и крупными скрытокристаллическими агрегатами гематита, часто золотиносного. По результатам атомно-абсорбционного анализа содержание золота в гематитовых агрегатах колеблется от 0,608 до 6,4г/т, в среднем составляя 5,37г/т. Песчаная магнитная и электромагнитная фракция представлена магнетитом, гематитом, лимонитизированным пиритом, единичные знаки ильменита, немагнитная фракция - циркон, рутил, шпинель и золото.

По результатам атомно-абсорбционного химического анализа песчаной, алевролитовой и глинистой фракции можно сделать вывод, о том, что золото концентрируется, главным образом в песчаной и алевролитовой фракции и составляет в среднем 0,6г/т и 0,3г/т соответственно. Содержание золото в глинистой составляющей не превышает 0,3г/т, при среднем значении 0,02г/т.

С целью геохимической характеристики выделенных зон было проведено количественное определение основных породообразующих элементов по профилю коры выветривания методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА).

Для характеристики процесса корообразования и количественной их оценки были применены следующие параметры, предложенные Е.В.Скляровым (2001г) и И.И.Гинзбургом (1963 г) с дополнениями автора:

1. Индекс выветривания,
2. Коэффициент ферритизации,
3. Коэффициент окисления,
4. Коэффициент аллитизации
5. Коэффициент выщелачивания
6. Коэффициент разложения

Индекс химического изменения (CIA). В качестве критерия для разграничения отложений, принято считать значение индекса, равное 70. Невыветрелые породы характеризуются значениями CIA порядка 50, тогда как сильно выветрелые разновидности соответствуют CIA около 100.

$$[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] * 100$$

Коры выветривания, развитые по гранитам, характеризуются постепенным увеличением индекса химического выветривания снизу вверх, от слабо выветрелых исходных пород с индексом CIA 55, до интенсивно преобразованных пород с индексом CIA до 80.

Коэффициент ферритизации – отношение содержаний окиси железа к кремнезему в продуктах выветривания к такому же отношению в материнской породе:

$$(Fe_2O_3/SiO_2) / (Fe_2O_3/SiO_2)_{исх}$$

Коэффициент ферритизации колеблется по профилю выветривания от 0,6 до 2,5, достигая максимальных значений в верхней части сформированной коры выветривания.

Коэффициент окисления - отношение суммы содержаний окиси железа, двуокиси марганца в продуктах выветривания к такой же сумме окиси и закиси железа и закиси марганца в материнской породе:

$$(Fe_2O_3 + MnO_2) / (Fe_2O_3 + FeO + MnO)_{исх}$$

Значения коэффициента окисления находятся в пределах от 0,65 в зоне слабо выветрелых пород, которые представлены гранитом, гранодиоритом и обломками кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых и кварц-амфиболитовых метасоматитов, и продуктами их разложения и до 2,5 в охристо-каолиновой зоне.

Коэффициент аллитизации – отношение содержаний глинозема к кремнезему в продуктах выветривания к такому же отношению в материнской породе:

$$(Al_2O_3/SiO_2) / (Al_2O_3/SiO_2)_{исх}$$

Коэффициент аллитизации находится в интервале от 0,65 до 1,12.

Коэффициент выщелачивания – показывает степень выноса оснований в продуктах выветривания по отношению к материнской породе:

$$(CaO + K_2O + Na_2O) / (CaO + K_2O + Na_2O)_{исх}$$

Значение коэффициента выщелачивания колеблется в пределах от 0,1 до 1,7.

Коэффициент разложения – отношение содержания оксида трехвалентного железа к содержанию оксида кальция в материнской породе.

$$Fe_2O_3 / CaO_{исх}$$

Разброс в значениях коэффициента разложения весьма значительный. Минимальные значения характерны для слабо выветрелых пород и составляют 0,08, а максимальные фиксируются в верхней части профиля коры, и имеют значение 25,67, что и отражает процесс корообразования с полным профилем выветривания.

В результате проведенных исследований установлено, что охристо-каолиновая зона - верхняя интенсивно проработанная зона сформированной коры выветривания. В минералогическом отношении характеризуется преобладанием пелитовой фракции крупности, которая состоит из кальцита, кварца, каолинита, разупорядоченного смектита, плагиоклаза, калиевого полевого шпата, иллита, гематита и гетита. Песчаная и

алевролитовая фракции представлены следующими минералами: *тяжелая фракция* – магнетит, мартит и мушкетовит, гематит, гидроокислы железа, амфиболы (роговая обманка, актинолит), циркон (гиацинт), золото, ед. знаки – ильменит, пирит и псевдоморфозы лимонита по пириту, марганцевые минералы, хлоритоид, шпинель, корунд, рутил, анатаз, *легкая фракция* – обломки обохренного кварца, серицитизированный плагиоклаз, калиевые полевые шпаты, карбонаты. Дресвяная фракция (более 1мм) – крупные обохренные обломки кварца, гематита, реже обломки интенсивно выветрелых материнских пород – гранитов, кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-хлоритовых и кварц-мусковитовых метасоматитов.

Выделенная, охристо-каолиновая, зона характеризуется следующими петрохимическими параметрами, рассчитанными по предложенной методике: коэффициент ферритизации от 2,2 до 2,46; коэффициент окисления – 1,7-2,27, коэффициент аллитизации – 0,71-0,94; коэффициент выщелачивания – 0,88-1,03 (Рис. 8). Коэффициент разложения в этой зоне имеет наибольшие значения от 6,5 до 17,8, а по отдельным скважинам коэффициент разложения достигает значений до 27. Индекс выветривания, рассчитанный по методике, предложенной Е.В. Скляровым (2001г) и Я.В.Юдовичем (2000г), характеризуется высокими значениями от 68 до 76. Максимальные концентрации золота, которые достигают значений 4,5 г/т, при среднем значении 2,7г/т, приурочены к нижней части верхней охристо-каолиновой зоны.

Средняя монтмориллонит-гидрослюдистая зона представлена минералами глинистой фракции – гидромусковитом и вермикулитом, монтмориллонитом и смешаннослойными хлорит-монтмориллонитовыми образованиями. Песчаная и алевролитовая фракции крупности представлены магнетитом, гематитом и гидроокислами железа, часто в виде псевдоморфоз по кубическим и пентагон-додекаэдрическим кристаллам пирита, амфиболами, редко ильменитом и рутилом, в незначительном количестве присутствует, хлоритоид, шпинель, корунд, циркон, эпидот, единичные знаки марганцевых минералов, и самородного золота, легкая фракция – кварц, плагиоклазы, полевые шпаты и слюды. Дресвяная фракция крупности представлена обломками выветрелых кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых, кварц-амфиболитовых метасоматитов и кварца, который покрыт пленкой гидроокислов железа и марганца, реже гематита.

В петрохимическом отношении выделенная монтмориллонит-гидрослюдистая зона, в отличие от верхней охристо-каолиновой зоны, имеет более низкие коэффициенты: ферритизации от 1,2 до 2,1; окисления – 0,9-1,53, аллитизации – 0,56-0,7, разложения – 2,7-6,7 и более высокий коэффициент выщелачивания – 0,9-1,2 (Рис. 8). Индекс химического выветривания составляет 60-68. Содержание золота в монтмориллонит-гидрослюдистой зоне не превышает 0,5-1г/т, при среднем 0,43.

Нижняя зона дезинтеграции сложена обломками кварц-альбит-хлорит-серицитовых, кварц-альбит-эпидот-хлоритовых, кварц-мусковитовых и кварц-амфиболитовых метасоматитов, и продуктами их разложения. В незначительном количестве присутствуют минералы песчаной и алевролитовой фракций крупности – кварц, калиевый полевой шпат, серицитизированные плагиоклазы, слюды, магнетит, гематит, гидроокислы железа, в том числе и псевдоморфозы по пириту, амфиболы, циркон, единичные знаки ильменита, рутила, барита, корунда, шпинели. Пелитовая фракция представлена кальцитом, присутствуют кварц, разупорядоченный смектит, иллит, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, следы доломита, ангидрита.

Коэффициенты выветривания в выделенной зоне дезинтеграции указывают на породы со слабой степенью их гипергенной проработки. Коэффициент ферритизации от 0,4 до 1,02, коэффициент окисления – 0,9-1,2, аллитизации – 0,45-0,7, разложения – 1,58-4,3, коэффициент выщелачивания – 1-1,7 (Рис. 8). Индекс химического выветривания составляет 58-64. Повышенные содержания золота отмечаются в единичных пробах, до 3,8г/т при среднем 0,5 г/т.

Помимо характеристики выделенных зон с помощью известной методики Гинзбурга, нами установлена зависимость между поведением золота в коре выветривания и значениями показателей выветривания. Так, максимальные содержания золота до 4,5 г/т приурочены к верхней охристо-каолиновой зоне с высокими значениями коэффициента ферритизации, аллитизации и коэффициента окисления и минимальными значениями коэффициента выщелачивания. И наоборот, низкие содержания золота характерны для менее выветрелых пород с минимальными значениями коэффициенты ферритизации, аллитизации и окисления (Рис 8).

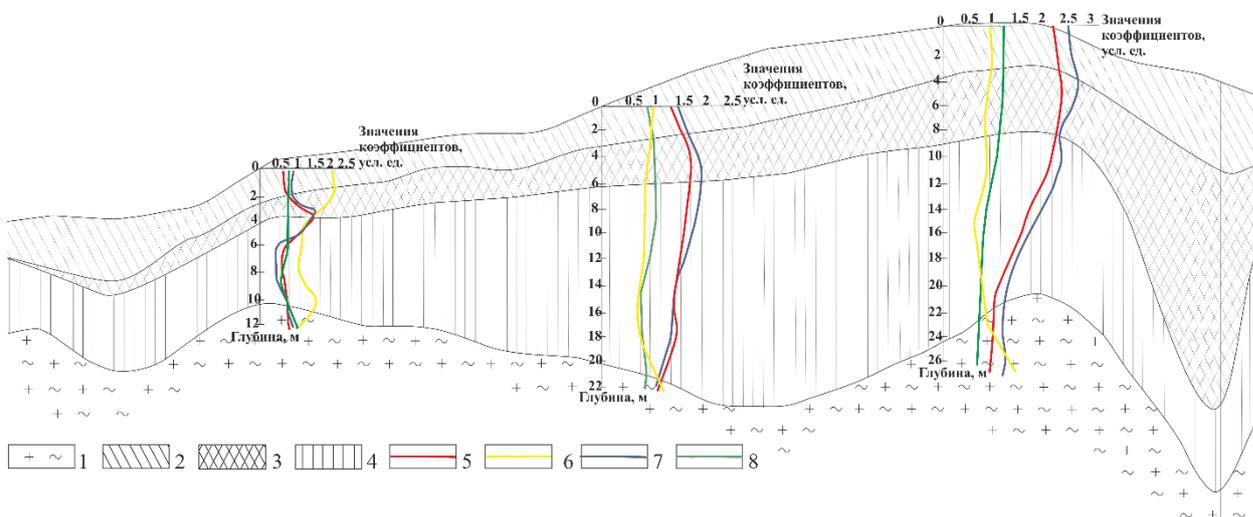


Рисунок 8. Схематический геологический разрез. Зона: 1) дресвяно-щебенистая; 2) охристо-каолиновая; 3) нижняя часть охристо-каолиновой зоны с повышенными содержаниями золота; 4) монтмориллонит-гидрослюдистая зона. Коэффициенты: 5) окисления; 6) выщелачивания; 7) ферритизации; 8) аллитизации.

С целью установления основного источника золотоносной минерализации в остаточных корах выветривания, было проведено количественное определение 28 элементов, включая золото и серебро, методом масс-спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой. Пробой служили обломки слабовыветрелых метасоматитов, отобранных из нижней зоны дезинтеррации и сколковые пробы, отобранные точно из горных выработок.

По результатам проведенных исследований, установлено, что максимальные содержания золота, серебра, железа, а также мышьяка, свинца, цинка и др. характерны для пород березитовой формации, а также интенсивно ожелезненных (лимонитизированных) пород. Для амфиболитовых метасоматитов отмечается повышение содержания ниобия, тантала и гафния (таблица 4).

Наряду с остаточной корой, на площади рудного района выделяются продукты переотложенной коры выветривания в водных, наземных и озерно-болотных условиях. Это преимущественно светло-коричневые глинистые, глинисто-щебенистые образования, представленные каолинитом и гидрослюдой с обломками гранита, гранодиорита, кварца, известняка и бурого железняка. Песчаная и алевритовая фракции содержат магнетит, гематит, окислы и гидроокислы железа и марганца, пирит. В незначительных количествах присутствует ильменит, рутил, брукит, анатаз, лейкоксен, циркон, корунд и золото. Минералы легкой фракции – кварц, полевые шпаты, редкие знаки марганцевых минералов и карбонатов. Гранулометрический состав продуктов переотложенной коры выветривания следующий: дресвяная фракция – 35 %, песчаная – 10 %, алевритовая – 7 % и глинистая фракция – 48 %. Эти образования залегают на элювиальной коре и сохранились в пределах древней поверхности. Мощность от 1 до 10 м, в карстовых полостях до 40 м.

Таблица 4. Химический состав обломков слабыветрелых пород, отобранных из нижней зоны дезинтеграции

№	Описание образца	Be	P	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Nb	Mo	Ru	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Hf	Ta	W	Au	Pb	Bi
		Содержание, г/т																											
I	Обломки пород коры выветривания, фракция крупности более 10мм (общ)	1,02	399	107	105	797	39978	10	29	115	62	12	1,42	19	<1	2,48	0,81	0,004	1,36	0,14	2,09	0,90	0,56	0,65	0,15	0,86	2,65	6	0,47
II	Породы коры выветривания, фракция крупности более 5мм (общ)	2,17	933	219	198	>10000	>100000	>500	260	641	442	15	1,21	1444	<1	2,02	>10	0,016	2,70	5,08	0,75	13,77	0,67	0,64	0,11	1,44	3,71	251	>10
III	Обломки амфиболитовых метасоматитов, фракция крупности более 10 мм	1,20	1099	153	150	2685	50226	17	64	47	91	14	1,85	22	<1	12,65	1,43	0,009	0,02	0,37	1,87	1,01	0,11	1,72	0,77	1,34	<0,00	10	0,20
IV	Окислы и гидроокислы железа коры выветривания, фракция крупности более 5 мм	2,42	1125	338	226	>10000	>100000	>500	432	1589	>500	15	1,58	3389	<1	2,31	>10	0,044	3,91	8,84	0,72	36,30	1,06	0,93	0,13	3,48	4,40	267	>10
V	Метасоматиты коры ветривания, фракция более 5 мм	1,46	510	121	131	2320	50232	24	49	65	67	15	1,53	142	<1	7,00	2,15	0,007	0,21	0,44	2,28	2,46	0,28	1,25	0,47	1,27	0,10	15	13,66
VI	Кварц-полевошпатовые и амфиболитовые метасоматиты, фракция более 5 мм	0,96	383	117	189	962	44928	18	41	134	50	11	1,45	44	<1	2,86	1,04	0,008	0,56	0,19	4,00	1,12	0,87	0,57	0,16	1,19	1,67	8	1,91
VII	Кварц-полевошпатовые метасоматиты, фракция более 10 мм	2,17	1718	150	312	1214	58497	11	70	55	57	15	0,91	17	<1	10,93	2,29	0,002	<0,01	0,68	2,72	0,72	0,07	2,60	0,69	1,69	0,007	6	<0,1

Продолжение таблицы 4.

VIII	Окислы и гидроокислы железа коры выветривания, фракция крупности более 5 мм	2,85	1032	243	156	>10000	>100000	>500	929	1316	>500	21	1,69	1444	<1	2,97	>10	0,030	6,13	>10	0,87	23,89	1,03	0,91	0,17	2,17	2,35	320	>10
IX	Кварц-полевошпатовые метасоматиты, фракция более 10 мм	0,58	444	100	140	654	29788	10	51	22	77	9	1,19	20	<1	4,44	0,43	0,003	0,12	0,20	0,96	1,34	0,04	0,51	0,27	0,89	0,070	5	0,58
X	Обломки выветрелого гранита, фракция более 10 мм	1,81	586	112	25	602	49899	10	70	41	102	14	0,99	38	<1	1,74	0,67	<0,001	0,10	0,35	0,58	0,60	0,04	0,12	<0,1	0,25	0,042	5	0,30
XI	Кварц-полевошпатовые и амфиболитовые метасоматиты, ожелезнение, фракция более 10 мм	1,50	1112	114	129	>10000	>100000	169	141	1237	412	6	0,87	890	<1	0,99	>10	0,008	0,28	2,39	0,49	15,23	0,67	0,36	<0,1	0,61	0,11	62	>10
XII	Кварц-полевошпатовые метасоматиты, выветрелый гранит, фракция более 5мм	0,86	443	87	93	433	55451	7	48	69	88	8	0,72	86	<1	1,35	1,11	<0,001	0,06	0,17	0,58	1,40	0,11	0,26	<0,1	0,29	0,093	10	1,13

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучено строение, зональность и минералого-геохимические особенности кор выветривания, развитых в пределах Ольховского месторождения (Восточный Саян).

2. Установлено, что в пределах Ольховского месторождения коры выветривания развиты довольно широко. Среди них выделяются остаточные и переотложенные. Остаточные коры выветривания мел-палеогенового возраста на площади района развиты по кислым и средним породам ольховского комплекса, а также карбонатным образованиям чибижекской свиты. Представлены они линейным и линейно-площадным морфологическими типами. Продукты выветривания сложены глинистым, песчано-глинистым и дресвяно-щебнистым материалом, с преобладанием тонкодисперсной глинистой фракции. Эти отложения в значительной степени лимонитизированы и карбонатизированы.

3. По составу остаточные коры выветривания относятся к каолиновому и каолинит-гидрослюдистому типу. Установлено, что они характеризуются развитием полного профиля, в составе которого выделяются зоны: дресвяно-щебенистая, монтмориллонит-гидрослюдистая и охристо-каолиновая. Повышенные содержания золота приурочены к нижней части верхней охристо-каолиновой зоны.

4. Золото коры выветривания, с некоторой условностью, подразделяется на первичное и вторичное – гипергенное. Первичное представлено идиоморфными, гемидиоморфными и неправильными формами с преобладанием кристалломорфных агрегатов послынного пластинчатого строения. Пробность первичного золота колеблется в широких пределах, преимущественно средне- и умеренно высокопробное. Вторичное – высокопробное.

5. Признаки гипергенного преобразования золота в коре выветривания выражаются в наличии структур растворения и образовании вторичного высокопробного гипергенного золота на изометричных зернах первичного видимого умеренно высокопробного золота, а также в виде микровключений в гематитовых агрегатах и зернах.

6. Помимо золота в лимонитизированных прожилках был обнаружен йодаргирит. Однако, вопрос нахождения и образования йодистого серебра в коре выветривания требует более детальных дополнительных исследований.

7. Определены геохимические критерии накопления золота в продуктах коры выветривания. Установлены характер изменения коэффициентов выветривания и особенности распределения золота в вертикальном разрезе кор выветривания. Максимальные содержания золота до 4,5 г/т приурочены к верхней охристо-каолиновой зоне с высокими значениями коэффициента ферритизации, аллитизации и коэффициента окисления и минимальными значениями коэффициента выщелачивания. И наоборот, низкие содержания золота характерны для слабо выветрелых пород с минимальными значениями коэффициентов ферритизации, аллитизации и окисления.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Мартыненко И. В.**, Мазуров А. К. Зональность и минералого-геохимический состав продуктов коры выветривания Ольховско-Чибижекского района // Известия Томского политехнического университета — 2011. — Т. 318, № 1: Науки о Земле. — С. 23-28
2. **Мартыненко И.В.**, Ворошилов В.Г., Тимкин Т.В., Mansour Ziaii, Петрохимическая характеристика кор выветривания Ольховско-Чибижекского района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов/— Томск., 2018. — Т. 329, № 12 С. 136-144
3. Янченко О.М., Ворошилов В.Г., Тимкин Т.В., **Мартыненко И.В.**, Mansour Ziaii Морфология и состав золота кор выветривания Томь-Яйского междуречья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов / Национальный

исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2019. — Т. 330, № 3. — [С. 84-92].

4. **Мартыненко И.В.**, Особенности коры выветривания Ольховско-Чибихевского района // Проблемы геологии и освоения недр: труды XII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых — Томск, 2008. — С. 116-117.
5. **Мартыненко И.В.**, Минеральный состав коры выветривания Ольховско-Чибихевского рудного района // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, — Томск, 2009. — С. 85-87
6. **Мартыненко И.В.**, Золото в продуктах коры выветривания Ольховского рудного поля // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения: Матер. XIV Междунар. совещ. – Новосибирск, 2010. – С. 426–430.
7. **Мартыненко И.В.**, Золото в окислах и гидроокислах железа продуктов коры выветривания Ольховско-Чибихевского района (Восточный Саян) // Геология в развивающемся мире: сборник научных трудов (по материалам международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых) / Пермский государственный университет — Пермь, 2011. — С. 83-85
8. **Мартыненко И.В.**, Распределение золота по профилю остаточной коры выветривания Ольховско-Чибихевского района / Проблемы геологии и освоения недр: труды XVI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых. — Томск., 2012. — Т. 1. — С. 211-213.
9. **Мартыненко И.В.**, Морфологические особенности и состав самородного золота коры выветривания Ольховско-Чибихевского района/ Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче. Сборник тезисов докладов I Молодежной научно-образовательной конференции ЦНИГРИ. М: ЦНИГРИ. 2020.- С 117-120
10. **Мартыненко И.В.**, Ворошилов В.Г., Тимкин Т.В. Коры выветривания Ольховско-Чибихевского района (Восточный Саян): минералогия, петрохимия, прогнозный потенциал // II Молодежная научно-образовательная конференция ЦНИГРИ. – Москва: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021. – С. 92–97.
11. **Мартыненко И.В.**, Минералогический состав продуктов коры выветривания Ольховско-Чибихевского района (Восточный Саян) // Глины и глинистые минералы - 2022. VII Российская Школа по глинистым минералам «Argilla Studium» и V Российское Собрание по глинам и глинистым минералам «ГЛИНЫ», посвященные 100-летию со дня рождения Б.Б. Звягина. - Москва, Материалы докладов. М.: ИГЕМ РАН, 2022 – С. 222-224