

УДК 553.411+551.311.231

ЗОНАЛЬНОСТЬ И МИНЕРАЛОГЕОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОЛЬХОВСКО-ЧИБИЖЕКСКОГО РАЙОНА

И.В. Мартыненко, А.К. Мазуров

Томский политехнический университет

E-mail: Martynenkoiv_84@mail.ru

Изучено строение, зональность и минералогическо-геохимические особенности коры выветривания Ольховско-Чибихевского района (Восточный Саян). Установлено, что повышенные содержания золота приурочены к верхней части сформированной коры.

Ключевые слова:

Восточный Саян, кора выветривания, строение, зональность, минералогическо-геохимические особенности, золото.

Key words:

The Eastern Sayan, residual soil, structure, zonality, mineral-geochemical features, gold.

Введение

В 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 концентратов 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 дополнительной информации о строении, зональности, минералогическо-геохимических особенностях и промышленной значимости исследуемых объектов, на предмет их потенциальной золотоносности.

Геологическое строение района

Ольховско-Чибихевский 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 глубокий 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 удлиненные в плане батолитовые массивы [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), балахтинской или чибихевской (конгломераты, известняки, доломиты), осинонской (туфогенные породы) и кизирской (вулканические породы) свит [1].

Первичное оруденение представлено умеренно-сульфидными маломощными кварцевыми прожилками штокверкового типа, которые локализируются, главным образом, в гранитоидах. Минеральный состав первичного оруденения: кварц, карбонаты, пирит, в незначительном количестве пирротин, золото [2].

Характеристика кор выветривания района

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 [3].

Остаточные коры выветривания мел-палеогенового возраста на площади района пользуются широким распространением, развиты по кислым породам ольховского комплекса и карбонатным образованиям чибихевской свиты. Наиболее ра-

звиты 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 железомарганцевые конкреции.

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

- 1) дресвяно-щебенчатая зона;
- 2) монтмориллонит-гидрослюдистая с каолинитом;
- 3) каолиновая с охристыми включениями гидроокислов железа и марганца [4].

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

Таблица 1. Гранулометрический состав продуктов коры выветривания гранитов

Фракция, мм	Выход фракций, %			
	Охристо-каолиновая зона	Монтмориллонит-гидрослюдистая зона		Дресвяно-щебенчатая зона
		Хлорит-монтмориллонитовая подзона	Подзона гидрослюда	
>+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

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

С целью геохимической характеристики выделенных зон было проведено количественное определение основных породообразующих элементов

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-щебенчатая 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 (гиацитин) (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 %), калиевые 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 (гиацитин) (5 %) золото (1 зн.). Редкие и ед. 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 (гиацитин) (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 (гиацитин) (3 %), ед. знаки – 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, калиевые полевые шпаты, следы гематита, доломита, ангидрита

по профилю коры выветривания методом масс-спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой.

При математической обработке полученных результатов было установлено, что остаточные коры выветривания в петрохимическом 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 охристо-каолиновой зоне.

Изучение химического состава пород по профилю коры выветривания позволило установить главные ассоциации элементов и их взаимоотношения. Пространственное распределение петрогенных элементов по профилю коры выветривания показаны на рис. 1.

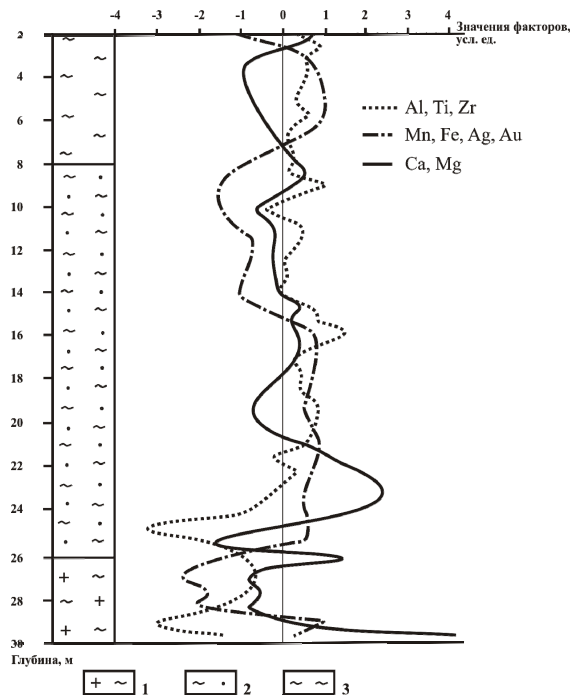


Рис. 1. Пространственные взаимоотношения ассоциаций петрогенных элементов по профилю коры выветривания. Зона: 1) дресвяно-щебенчатая; 2) монтмориллонит-гидрослюдистая; 3) охристо-каолиновая

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

Первый фактор характеризуется повышенной положительной корреляционной связью алюминия, циркона и титана. Это ассоциация мало подвижных или устойчивых элементов, содержание которых по профилю выветривания практически одинаково и составляет от 0,012 до 0,071 мас. % при среднем значении 0,016 мас. % для циркона, и

от 0,1 до 0,67 мас. % при среднем 0,446 мас. % для титана. Однако в нижней части сформированной коры отмечается вынос этих элементов. Магний и кальций входят в состав второй 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. Третий 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, гетита и в лимонитизированных прожилках.

Таблица 3. Матрица факторных нагрузок

Элемент	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
Общая дисперсия	2,51	2,46	1,31

Коры выветривания, приуроченные к полям развития карбонатных образований чибижекской свиты, сложены каолинитом, гидрослюдой и охристыми образованиями. 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 каолининовой составляющей, что отражает некоторые элементы зональности. Дресвяная фракция представлена обломками пород и крупными скрытокристаллическими агрегатами гематита, часто золотоносного. По результатам атомно-абсорбционного анализа содержание золота в гематитовых агрегатах колеблется от 0,61 до 6,40 г/т, в среднем составляя 5,37 г/т. Песчаная магнитная и электромагнитная фракции представлены магнетитом, гематитом, лимонитизированным пиритом, единичными знаками ильменита, немагнитная фракция – цирконом, рутилом, шпинелью и золотом.

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 0,6 и 0,3 г/т соответственно. Содержание золота в глинистой составляющей не превышает 0,3 г/т, при среднем значении 0,02 г/т.

Наряду с остаточной корой, на площади рудного района выделяются продукты переотложенной коры выветривания в водных, наземных и озерно-болотных условиях [5]. 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.

Особенности золота коры выветривания

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 в лаборатории Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, методом сканирующей электронной микроскопии 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 заключительной стадии были сделаны микрозондовые 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 микрозонде MS-46 «Самеса».

В результате проведенных исследований установлено, что пробность золота в коре выветривания колеблется в широких пределах, однако преобладает среднепробное и умеренновысокопробное (рис. 2, А). Исключением является вторичное гипергенное золото, которое имеет весьма высокопробный и высокопробный состав, при средней пробности 975 ‰ (рис. 2, Б). 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. %).

По результатам проведенных электронно-микроскопических исследований можно выделить три основных морфологических типа золота: идиоморфное, гемидиоморфное и неправильное [6]. Идиоморфное золото характеризуется кристаллоподобными, изометричными формами. Гемидиоморфное 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, рис. 3.

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

Кроме того, в остаточной коре выветривания было установлено наличие тонкодисперсного золота. Минераграфические исследования показали, что золото образует колломорфные, эмульсионные и нитевидные сращения с окислами и гидроокислами железа, реже марганца (рис. 4). Эти данные позволяют предположить, что в образовании по-

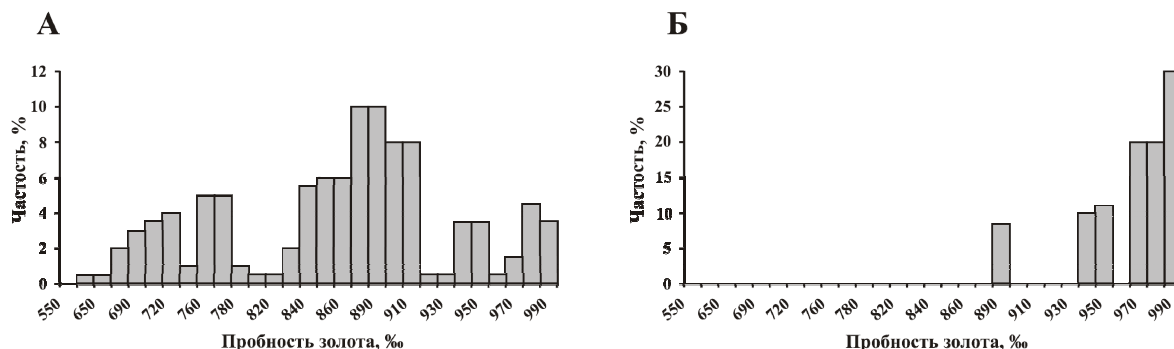


Рис. 2. Гистограмма пробности первичного (А) и вторичного (Б) золота коры выветривания

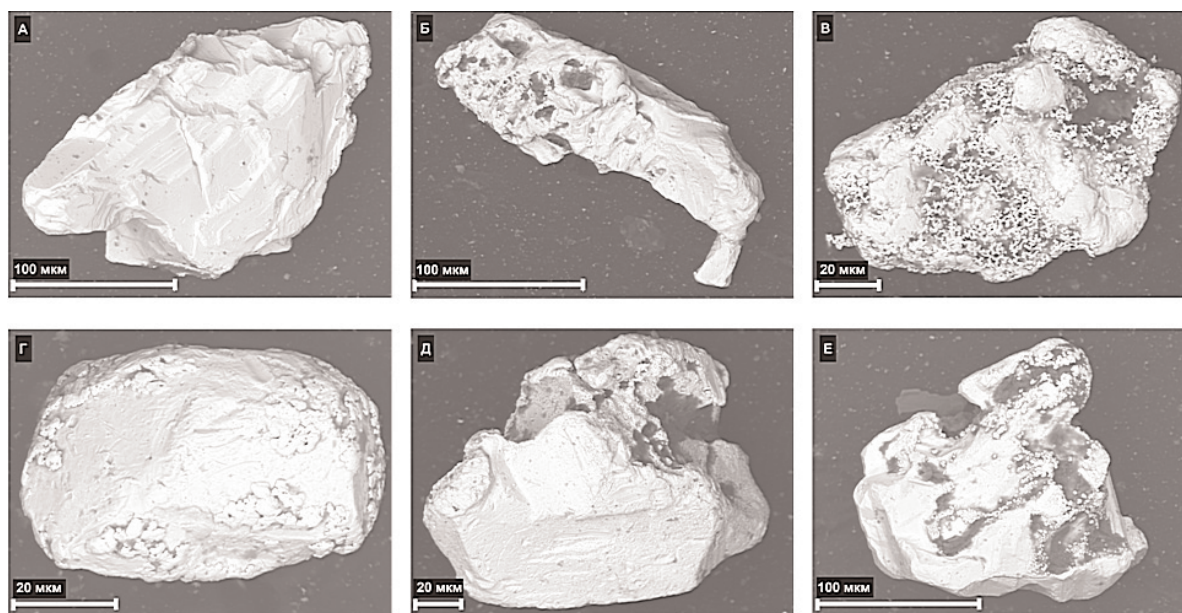


Рис. 3. Морфология золота коры выветривания. Снимки на сканирующем электронном микроскопе. Золото: А) гемиморфное с послойным пластинчатым строением; Б) проволоковидное с участками разноориентированного ступенчатого рельефа; В) кристалломорфное в обрамлении дендритовидных агрегатов гипергенного высокопробного золота; Г) кристаллоподобное с пластинчатыми нарастаниями вторичного гипергенного золота; Д) изометричное кристаллическое со структурой ямчатого растворения; Е) кристаллическое с признаками растворения на гранях и нарастание на них мелких единичных кристаллов золота и их сростков

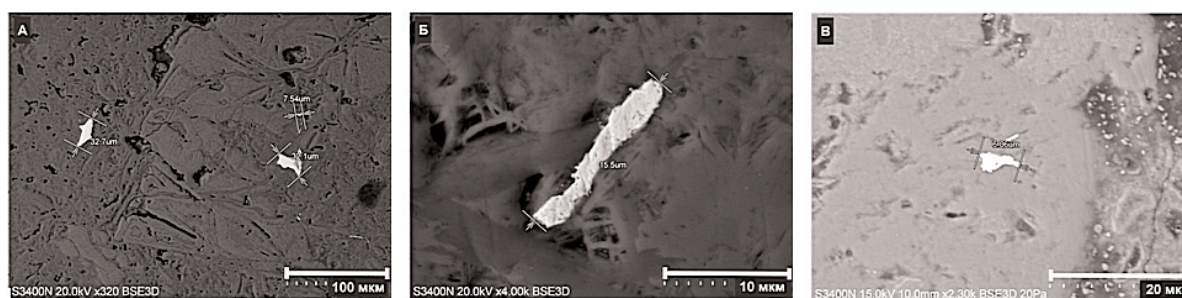


Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки гематитовых агрегатов и зерен (серое) с включениями тонкодисперсного коллоидного и нитевидного золота (белое)

вышенных 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, что не противоречит выводам Н.А. Рослякова [7, 8].

Помимо золота в зернах гематита и лимонитизированных обломках кварца, методом сканирующей электронной микроскопии с качественной характеристикой химического состава, было обнаружено самородное йодистое серебро – йодаргирит. Располагается серебро в виде тонких гибких пластинок в лимонитизированных прожилках.

Присутствие йодида в зоне гипергенеза вызывает вопрос об источнике йода. Традиционно образование галогенидов в корах выветривания связывается с заключительными стадиями их формирования в условиях аридного климата при участии поверхностных вод, обогащенных ионами галогенов, в том числе йода [9]. Йодаргирит в корах выветривания Ольховско-Чибикского района ра-

нее установлен не был, и вопрос его наличия и образования остается дискуссионным и требует более детальной проработки.

Выводы

1. Изучено строение, зональность и минералогическо-геохимические особенности коры выветривания Ольховско-Чибикского района (Восточный Саян).
2. Установлено, что в пределах Ольховско-Чибикского района 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 чибикской свиты. Представлены они линейным и линейно-площадным морфологическими типами. Продукты выветривания сложены глинистым, песчано-глинистым и дресвяно-щебнистым мате-

риалом, 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 кри-

сталломорфных агрегатов послыйного пластинчатого строения. Пробность первичного золота колеблется в широких пределах, преимущественно средне- и умеренновысокопробное. 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 умеренновысокопробного 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 исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробейников А.Ф., Зотов И.А. Комплексные месторождения благородных и редких металлов. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006. — 327 с.
2. Цыкин Р.А., Попова Н.Н. Кайнозой северо-западной части Восточного Саяна. — Красноярск: СФУ, 2009. — 115 с.
3. Хазагаров А.М. Мезозойские и третичные золотоносные россыпи Восточного Саяна и Кузнецкого Алатау // Геология россыпей / под ред. В.И. Смирнова. — М.: Наука, 1965. — С. 188–198.
4. 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.
5. Золотоносные коры выветривания Сибири / под ред. С.С. Сердюка. — Красноярск: КНИИГиМС, 2002. — 116 с.
6. Петровская Н.В. Самородное золото. — М.: Наука, 1973. — 349 с.
7. Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза. — Новосибирск: Наука, 1981. — 239 с.
8. Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г. Золотоносные коры выветривания юга Сибири. — Новосибирск: Гео, 2006. — 339 с.
9. Зырянова Л.А., Чекалин В.М., Литвинов Н.Д. О редкой находке маршита в окисленных рудах Рубцовского полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) // Вестник Томского государственного университета. — 2009. — № 326. — С. 214–216.

Поступила 22.11.2010 г.