

ПРОЦЕССЫ ПРИРОДНОЙ АМАЛЬГАМАЦИИ В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ НА ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩАХ

Бадьянова И.В., Осовецкий Б.М.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: opal@psu.ru)

Присутствие ртутистого золота и амальгам агрегатного строения установлено в корях выветривания, развитых на черносланцевых породах федотовской свиты на западном склоне Урала. Используются электронно-зондовые методы для изучения их морфологических особенностей и химического состава. Отмечены характерные признаки агрегатного золота кор выветривания черносланцевых толщ: преобладание зерен микронного размера, глобулярное их строение, темно-серая окраска, слабый блеск, пористость и др. Химический состав глобул отличается переменным содержанием ртути, постоянным присутствием меди, железа и серебра. Обоснован генезис агрегатного золота как проявление процесса природной амальгамации. Подчеркнута роль ртути как концентратора золота в породах черносланцевой формации. Отмечено поисковое значение ртутистого золота и амальгам агрегатного строения в выявлении золоторудной минерализации в черносланцевых толщах.

Ключевые слова: черносланцевые толщи, ртутистое золото, амальгамы, электронная микроскопия, микрозондовый анализ.

NATURAL AMALGAMATION PROCESSES IN WEATHERING CRUST OF BLACK-SCHIST UNITS

Badjanova I.V., Osovetsky B.M.

Perm State National Research University, Perm, Russia (614990, Perm, Bukirev st., 15, e-mail: opal@psu.ru)

Mercuriferous gold and amalgams of aggregate structure is determined in the weathering crust of black-schist rocks of Fedotov suite in the Western Urals. The electron microscopy methods and microprobe analysis are applied for investigation of their morphological peculiarities and chemical composition. The typical features of aggregate gold in weathering crust of black-schist are marked: predominance of micron-sized particles, globular structure, dark-grey color, weak luster, porosity, etc. In chemical composition of globules variable mercury percentage, constant presence of copper, iron and silver are determined. The genesis of aggregate gold as a result of natural amalgamation process is based. The role of mercury as gold concentrator in black-schist rocks is distinguished. The prospecting significance of Hg-gold and amalgams of aggregate structure for discovering of gold mineralization in black-schist rocks is marked.

Keywords: black-schist rocks, Hg-gold, amalgams, electron microscopy, microprobe analysis.

Введение

Черносланцевые породы являются важным перспективным источником различных видов минерального сырья: золота, платиноидов, полиметаллов, радиоактивных и редкоземельных элементов и т.д. Формы нахождения этих элементов чрезвычайно разнообразны, причем преобладают тонкодисперсные выделения. По особенностям минерализации и другим признакам месторождения, которые будут обнаружены в черносланцевых толщах, относятся к «нетрадиционным» типам.

В настоящее время при изучении черносланцевых пород основное внимание уделяется органическому веществу как сорбенту ценных металлов. Роль углерода как концентратора золота установлена на примере ряда известных месторождений (Витватерсранд). В последние годы доказано, что углеродистое вещество проявляет данную способность в

различных его формах. В частности, золото может находиться в составе металлоорганических соединений, внутри углеродистых нанотрубок, фуллереноподобных образований, в битумоидах, графитизированном веществе и т.д. [4].

Можно предположить, что не менее важную роль в качестве эффективного концентратора золота и ряда других рудных элементов в черносланцевых толщах играет ртуть. В наиболее активных формах ее концентрирующая функция проявляется в корах выветривания, развитых на черносланцевых породах, чему посвящена настоящая статья.

Цель исследования

Главной целью исследования является обоснование роли ртути как концентратора золота в корах выветривания над черносланцевыми породами на примере одного из объектов западного склона Урала. Как в самих углеродистых толщах, так и в корах выветривания присутствие ртути в повышенных количествах способствует развитию процессов природной амальгамации, что в свою очередь обуславливает укрупнение частиц золота.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются черносланцевые породы федотовской свиты верхнего рифея, распространенные на западном склоне Среднего Урала в пределах Горнозаводского района Пермского края. Федотовская свита входит в состав басегской серии и сложена серицит-хлорит-кварцевыми кристаллическими сланцами с прослоями аповулканогенных разностей, образованных за счет изменения эффузивов основного и кислого состава.

В общей сложности в породах басегской серии установлено присутствие порядка 30 тяжелых минералов. Преобладающие по количеству являются устойчивыми к агентам химического выветривания, среди них некоторые могут стать россыпеобразующими (циркон, ильменит, рутил, лейкоксен, монацит). Ведущей для тяжелой фракции является турмалин-цирконовая минеральная ассоциация. Преобладание устойчивых минералов в ее составе связывается со сносом обломочного материала с востока Восточно-Европейской платформы, где были развиты зрелые коры выветривания на породах кристаллического фундамента [3].

Кроме того, для черносланцевых пород федотовской свиты характерно развитие наложенных метасоматических процессов с формированием прослоев и линз с разными типами минерализаций: магнетитовой, сульфидной, анкеритовой, алланитовой и др.

Углеродистое вещество распространено в породах федотовской свиты неравномерно, обогащая отдельные прослои с повышенным содержанием сульфидов и тонкодисперсных частиц. Результаты атомно-абсорбционного анализа показывают присутствие в нем «невидимого» золота.

Разнообразный вещественный состав коренных пород способствует формированию весьма разнородной по строению и минеральному веществу коры выветривания. Она характеризуется высокой степенью ожелезнения и омарганцевания, присутствием большого разнообразия первичных минералов, устойчивых к агентам химического выветривания.

Опробование кор выветривания проводилось сотрудниками ОАО «Пермгеолнеруд» и ООО «Геолайн» (А.С. Козлов, С.А. Пушкин, С.Б. Суслов) по керну скважин, бороздовыми пробами по канавам и расчисткам. В лабораторию ПГНИУ доставлялись дробленые образцы объемом до 30 л. Обогащение проб проводилось И.Я. Илалтдиновым на винтовом шлюзе с получением концентрата массой до 100-150 г. Им же выполнены операции выделения тяжелой фракции и последующей ее домывки в чашке с бромформом с получением небольших ультраконцентратов. Из последних частицы видимого золота отбирались И.В. Бадьяновой под биноклем.

Среди различных морфологических типов частиц золота, присутствующих в коре выветривания (чешуйчатое, ветвистое, комковидное, игольчатое, кристаллическое и т.д.), особое внимание привлекли своеобразные агрегаты преимущественно неправильной или изометрической формы, отличающиеся темно-серой окраской, слабым блеском и высокой пористостью. Их морфологические особенности исследованы с применением методов электронной микроскопии, в т.ч. высокого разрешения. С этой целью использован сканирующий электронный микроскоп с холодной эмиссией JSM 7500F фирмы JEOL (Япония). Химический состав изучен с применением микрозондового анализа на электронном микроскопе JSM 6390LV (JEOL) с энергодисперсионным спектрометром INCA x-act фирмы Oxford Instruments (исследования выполнены Б.М.Осовецким).

Результаты исследований

Зерна золота агрегатного строения по морфологическим особенностям и окраске заметно выделяются среди частиц благородного металла. По количеству относительно преобладают очень мелкие выделения размером менее 50 мкм (рис. 1). В подчиненном количестве встречаются индивиды крупностью до 100 мкм (рис. 2). Под электронным микроскопом с увеличением до 1000 раз те и другие выглядят как более или менее плотные агломераты частичек разной формы и размера, однако в более крупных агрегатах преобладающее количество слагающих их фрагментов несколько крупнее: соответственно 20-30 и 5-10 мкм. В основном фрагменты имеют округлую форму и условно названы глобулами.

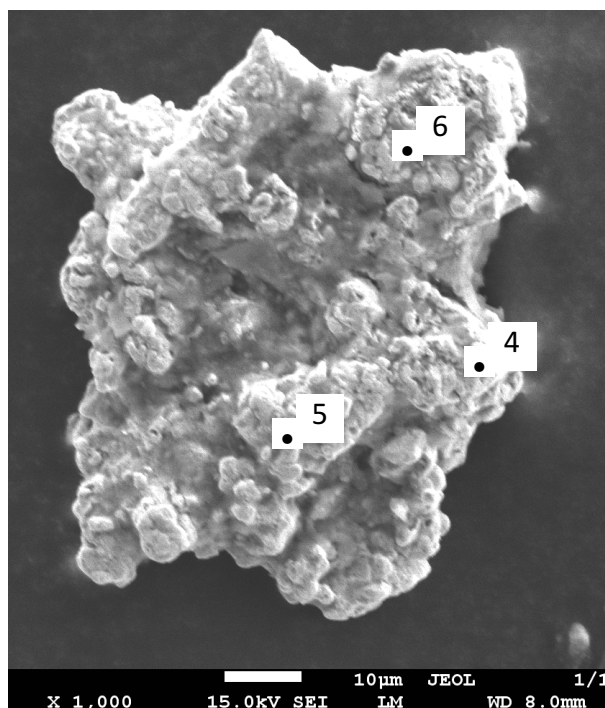
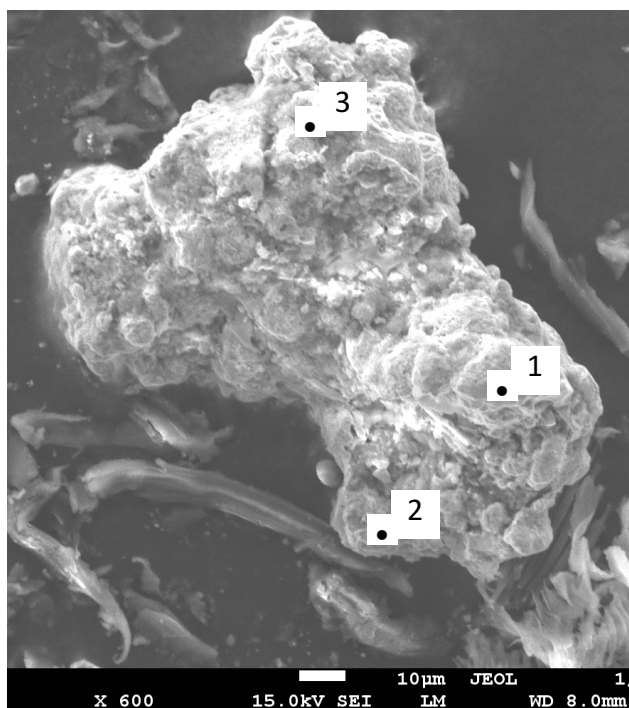


Рис. 1. Знаки золота агрегатного строения размером менее 50 мкм: 1-6 – точки и номера микрозондового анализа (здесь и далее; см. табл.)

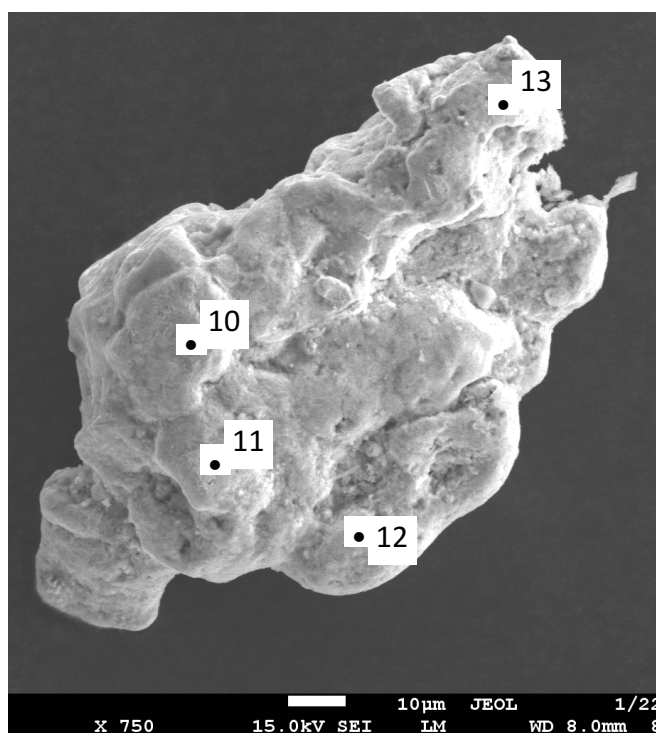
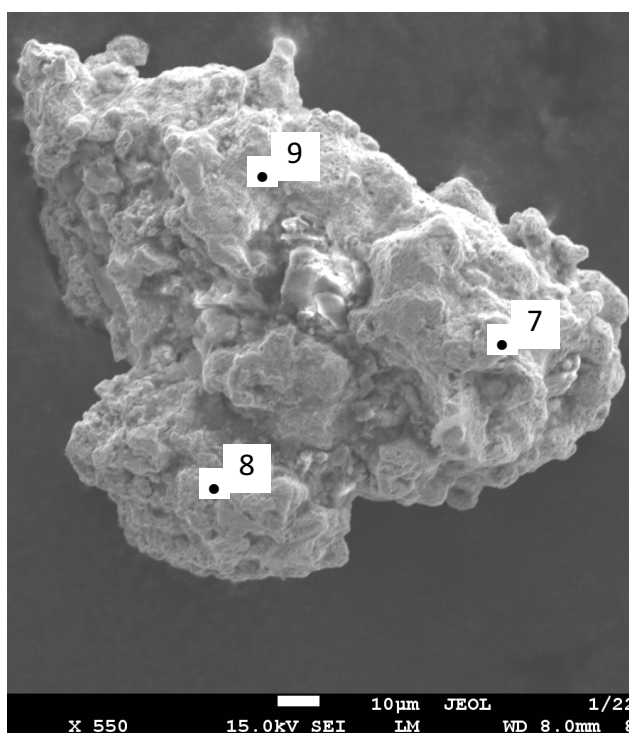


Рис. 2. Знаки золота агрегатного строения размером от 100 до 50 мкм

На более детальном уровне электронномикроскопических исследований с применением увеличений порядка нескольких тысяч раз выявляется, что глобулы, слагающие вышеописанные агрегаты, сами имеют аналогичное микроглобулярное строение (рис. 3).

Размеры микроглобул при этом составляют первые единицы и даже доли микрона. На этом уровне отмечается присутствие значительного количества микропор и наличие сложных группировок микроглобул.

Применение увеличений в несколько десятков тысяч раз позволяет рассмотреть в структуре микроглобул присутствие более мелких неоднородных по строению фрагментов размером в сотни нанометров (рис. 4). Наконец, на уровне увеличения до 75 тысяч раз выявляется, что значительная часть составляющих эти фрагменты индивидов является наноразмерной (рис. 5).

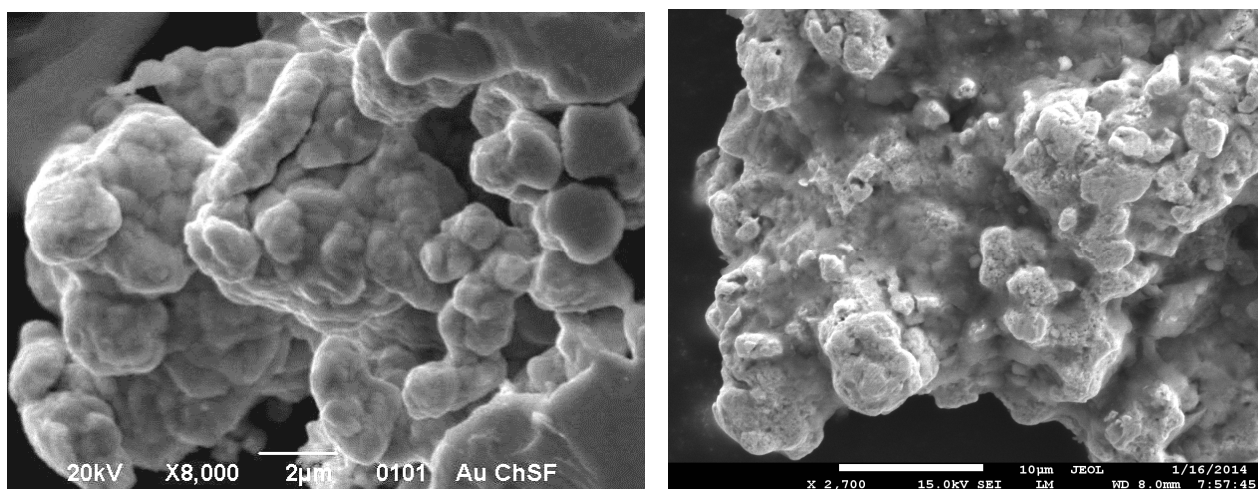


Рис. 3. Глобулы в составе золотин агрегатного строения

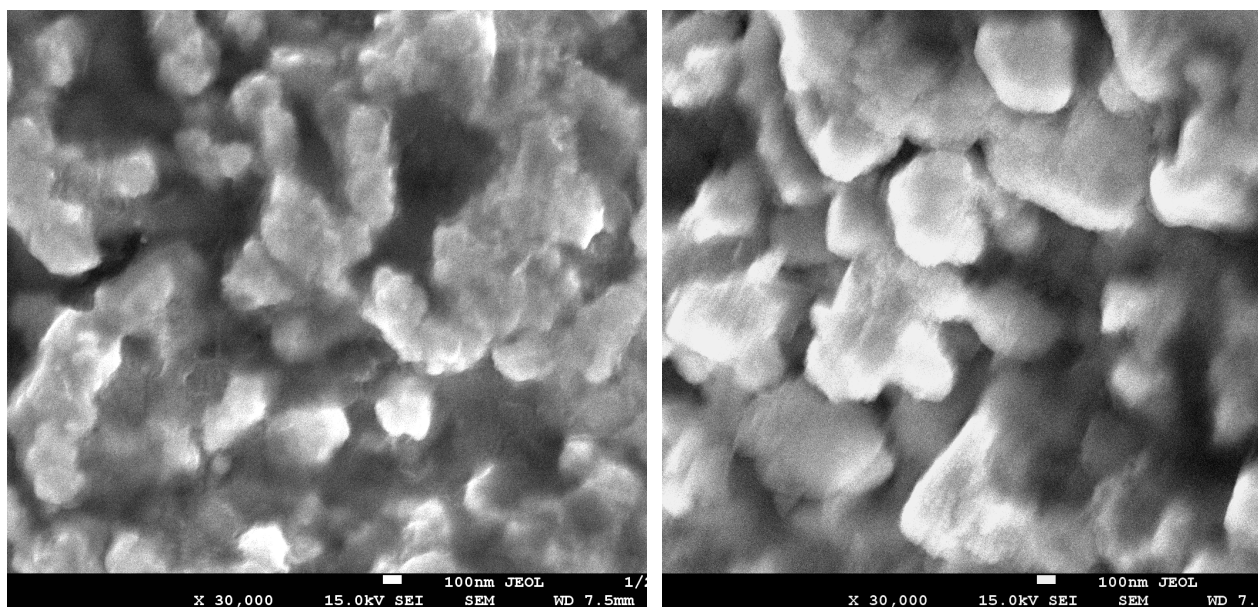


Рис. 4. Микроглобулярное строение частиц агрегатного золота

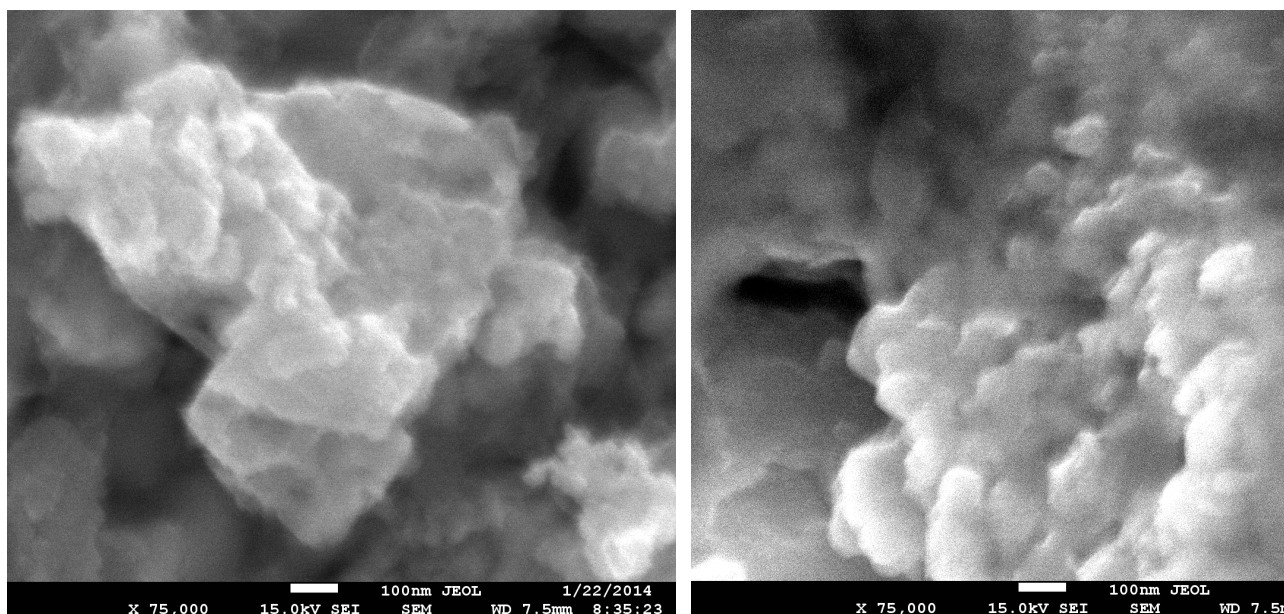


Рис. 5. Наночастицы золота в строении микроглобул

Наноразмерные индивиды, находящиеся в основе структуры золотин агрегатного строения, в основном имеют округлую форму и размеры около 50-100 нм. Они достаточно плотно «упакованы» в структуре, причем пространство между ними заполнено каким-то цементирующим веществом.

Химический состав описанного золота определен микрозондовым методом в некоторых, произвольно выбранных, микроглобулах (см. рис. 1, 2). Принимая во внимание размеры электронного зонда (порядка 1 мкм), можно сделать вывод о том, что в каждом случае определяется средний состав большого числа отдельных наночастиц, составляющих микроглобулу. Неровность поверхности объекта и невозможность изготовления шайбы обычно приводит к необходимости нормировать содержания элементов.

Полученные данные свидетельствуют о том, что золото агрегатного строения образовано за счет агломерации наночастиц ртутистого золота и амальгам (табл.).

Характерно, что более мелкие по размерам агрегаты сложены почти исключительно микроглобулами высокортутистого золота с пониженным содержанием серебра (табл., анализы 1-6). Более крупные агрегаты образованы за счет агломерации амальгам состава $(Au, Ag)_3Hg$. В них также присутствуют Ni, Co, Cl.

Обсуждение результатов

Образование описанных выше выделений золота агрегатного строения связывается нами с проявлением процессов природной амальгамации. Такие процессы активно развиты в золотоносных корах выветривания Урала и других территорий [1, 2, 8]. Они инициируются поступлением ртути в газообразной и жидкой форме по глубинным разломам,

предположительно из мантии. Эти же процессы на локальных участках выявлены на территории Вятско-Камской впадины, здесь они приводят к образованию агрегатных скоплений ртутистого золота размером до 1 мм и более [5–7].

Средний химический состав наночастиц в составе микроглобул, мас.%

Номер анал.*	Au	Hg	Ag	Cu	Pd	Ni	Co	Fe	Cl	Сумма
1	68,72	20,14	3,32	1,86	0	0	0	5,96	0	100
2	72,51	16,40	0	2,59	0,72	0	0	7,78	0	100
3	77,95	11,43	1,03	8,23	0	0	0	1,36	0	100
4	79,00	13,13	1,68	3,52	0	0	0	2,67	0	100
5	81,52	12,80	1,83	2,05	0	0	0	1,80	0	100
6	83,31	12,22	2,02	1,67	0	0	0	1,26	0	100,48
7	65,77	22,97	2,14	6,99	0	0,22	0	1,91	0	100
8	64,30	26,18	3,08	1,80	0,49	0,15	0	4,01	0	100,01
9	71,24	23,06	3,95	0,87	0	0,10	0	0,77	0	99,99
10	56,79	27,81	6,89	1,62	0	0,13	0	6,31	0,45	100
11	53,29	28,84	6,37	2,80	0	0	0,12	8,28	0,30	100
12	56,45	26,46	8,01	2,07	0	0	0	7,01	0	100
13	57,45	26,57	6,69	2,68	0	0,11	0,12	6,00	0,38	100

Примечание: * см. рис. 1, 2.

В корях выветривания и в самих черносланцевых толщах наблюдается определенная специфика минералообразования, связанного с процессами природной амальгамации. Так, здесь в больших количествах присутствует киноварь, что свидетельствует о низкотемпературном режиме гидротермальных растворов, благоприятном для образования амальгам золота. Кроме того, в этих толщах образуется множество других амальгам – особенно свинца, олова и меди. В частности, микронзондовый анализ показал присутствие амальгам состава Hg_3Pb и Hg_3Sn , представленных шарообразными микроформами с гладкой блестящей поверхностью.

Можно предположить, что роль ртути как концентратора золота в черносланцевых толщах вполне соизмерима с соответствующей ролью углеродистого вещества. Она заключается в мобилизации «невидимых» (ультратонкодисперсных) форм нахождения металла, их укрупнении и тем самым фиксации рудоносных зон. В связи с этим изучение процесса природной амальгамации, закономерностей его проявления и локализации является важным направлением в прогнозировании золотого оруденения данного типа. В частности, обнаружение в определенных участках коры выветривания ртутистого золота и амальгам может указывать на наличие соответствующих рудоносных зон в подстилающих черносланцевых породах.

Применение традиционных методов шлихового опробования, а также других способов гравитационного обогащения, в сочетании с обычными методами обработки шлихов и их изучения в лабораторных условиях с целью обнаружения ртутистого золота агрегатного строения неэффективно. Причинами являются малая крупность и хрупкость агрегатов, наличие на них железистых пленок, высокая пористость и т.д. Поэтому требуется разработать более совершенную методику полевых и лабораторных работ, основанную на комплексировании современных методов обогащения минерального сырья и аналитических исследований.

Список литературы

1. Борисенко А.С., Наумов Е.А., Оболенский А.А. Типы золото-ртутных месторождений и условия их образования // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 342-354.
2. Васильев В.И. Некоторые итоги изучения ртутистого золота // Геология и геофизика. – 1991. – № 2. – С. 66–74.
3. Курбацкая Ф.А. Методы исследования осадочных пород (на примере отложений верхнего докембрия Западного Урала). – Пермь: Перм. ун-т, 1986. – 92 с.
4. Марченко Л.Г. Наноминералогия благородных металлов: проблемы образования и обогащения тонкодисперсных руд // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 2005. – С. 142–148.
5. Наумов В.А., Илалтдинов И.Я., Осовецкий Б.М., Голдырев В.В., Макеев А.Б. Золото Верхнекамской впадины. – Кудымкар – Пермь: Коми-Пермяцкое кн. изд-во, 2003. – 218 с.
6. Осовецкий Б.М. Россыпеобразующие минералы Вятско-Камской впадины. – Пермь: Перм. ун-т, 2011. – 250 с.
7. Осовецкий Б.М. Природное нанозолото. – Пермь: Перм. ун-т, 2013. – 176 с.
8. Спиридонов Э.М. Самородное ртутистое золото Северного Казахстана // Новые данные о минералах. – 1991. – № 37. – С. 108–127.

Рецензенты:

Наумов В.А., д.г.-м.н., директор ЕНИ ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г.Пермь.

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии и петрографии ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г.Пермь.