

БИОГЕННОЕ ЗОЛОТО ИЗ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И РОССЫПЕЙ САЛАИРА**Ю. А. Калинин^{1,2}, Н. А. Бакшеев³, С. М. Жмодик¹, Л. М. Житова^{1,2}**¹ Институт геологии и минералогии СО РАН, пр. Академика Коптюга 3,
630090 Новосибирск, Российская Федерация; Yuri.A.Kalinin@mail.ru² Новосибирский государственный университет, геолого-геофизический факультет, ул. Пирогова 2,
630090 Новосибирск, Российская Федерация³ Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Красный проспект 67,
630091 Новосибирск, Российская Федерация; geology@sniiggims.ru

Обобщая свой опыт по изучению зоны гипергенеза, К. И. Лукашёв подчеркивал, что при формировании коры выветривания «в качестве важнейшего фактора миграции и концентрации веществ, наряду со свободным O, углекислотой и водой, выступают процессы жизнедеятельности организмов и коллоидные явления. Всё это в совокупности обуславливает грандиозный динамический процесс разрушения и обмена веществ, аккумуляции и создания новых характерных для биосферы минеральных и органо-минеральных тел» [14]. В последние годы оформилась новая наука – биоминералогия, изучающая процессы минералообразования с участием организмов. В этой связи получение новых данных о свойствах минералов, хотя бы на некоторое время включавшихся в биологические циклы, весьма перспективно.

Самородное Au, образованное при участии микроорганизмов, бактерий и продуктов их метаболизма получило название биогенного [15]. Экспериментальными работами показана возможность перекристаллизации Au определёнными видами бактерий [16, 17], внутриклеточного зарождения нового Au бактериями и дрожжами [10–11, 22–23], аккумуляции и кристаллизации Au микромицетами [12]. Эксперименты с современными видами цианобактерий показали, что они эффективно осаждают Au в виде частиц сферической формы. Полученные в эксперименте сферические частицы нового биогенного Au с высокой долей вероятности имеют и природные аналоги. Описаны эллипсоидные частицы самородного Au, сгруппированные в цепочки, характерные для бактерий, присоединяющихся к твёрдому субстрату. Биогенная природа новообразований Au хорошо подтверждается находками полных псевдоморфоз по микроскопическим водорослям и бактериям [1, 2], псевдоморфоз по почкующимся почвенным бактериям, встреченным не только в корях выветривания, но и в россыпях.

Нами установлено, что в эксплуатирующихся золотоносных россыпях Салаирского кряжа в позднеэоценовых песчанисто-щебнисто-глинистых отложениях присутствуют многочисленные железо-фосфатно-карбонатные и карбонатные конкреции и оолиты, несущие следы биоморфного преобразования, предполагающего как непосредственное участие микроорганизмов в минералообразовании, так и их последующее замещение. Их тесные сростания с Au, а также особенности морфологии и состава самих золотин из россыпей и глинистой коры выветривания, наличие бактериоморфных форм Au в ископаемых костях животных из этих отложений свидетельствуют о биогенном перераспределении минерального вещества в геологической истории региона. Кроме того, к границе двух пачек (песчанистой и глинистой) нередко приурочены многочисленные горизонты палеопочв-торфов, в которых присутствуют конкреции, сложенные карбонатными оолитами от кальцита до сидерита, сформированные бактериями с остатками микроорганизмов (фораминиферы, остракоды) [4]. Такие же оолиты были обнаружены на окатанных золотинках из нижней щебёночно-глинистой пачки на р. Листвянка в Салаирском кряже. В их составе фиксируются химические элементы, характерные для живых организмов: Ca, Si, Fe, Mg, P, Mn, Al, K.

Для всей территории Салаирского кряжа характерно широкое развитие кор выветривания мощностью до десятков метров, вдоль зон глубинных разломов – до 100–150 м. Вдоль этих зон развиваются мощные металлоносные коры выветривания линейного типа [8]. В подошве перекрывающих их четвертичных отложений часто наблюдаются железо-марганцевые конкреции, содержащие аномальные концентрации Fe, Mn, Si, Ca, Al, Au, Ag, Ba, Pb, Zn, Cu, As, Mo, Bi и меньше Ni, Cr, Co, V, Cd, Se, Te. По своей сути, эти Fe-Mn образования представляют собой реликты кирасы латеритного профиля выветривания, несущей все минералого-геохимические черты подстилающего оруденения [6]. У части из них отчётливо просматриваются включения размерами до 10 мкм в виде сферических гранул, палочек и их комбинаций, схожих по морфологии с бактериями коккоидной формы [3, 7, 20].

В этих же золотоносных песчанисто-щебнисто-глинистых отложениях в долине р. Листвянка на Салаире отмечается большое скопление остатков костей, скелетов мамонтов, носорогов и др. крупных животных, а также подрубленных стволов и пней деревьев, имеющих возраст 10–13 тыс. лет [19]. Можно предположить, что подобные скопления связаны с какими-то катастрофическими событиями, возможно, локального уровня, например, трансгрессиями. Перекрывающая их глинистая пачка содержит два типа «конкреций», представленных скелетами колоний мшанок – железо-фосфатные (трубчатого строения) и карбонатные (массивного и каркасного строения), находящиеся нередко совместно. Характерно, что в позднеэоценовых отложениях над погребенными рудными зонами в окаменевших бактериальных матах и скелетах колоний мшанок фиксируются аномальные концентрации Fe, Pb, Cu, Zn, Mo, Se, Au, Ag, As и др. Тот же набор элементов был установлен с помощью РФА в ископаемых костях бизона из золотоносного горизонта того же возраста. В полированных шлифах из кости нижней челюсти бизона были обнаружены скопления марказита размером, до 10 мкм, с формой в виде кренделя (бактерии *Delftia acidovorans*?) и в виде запятой, характерной для бактерий вибрионов (*Cupriavidus metallidurans*?) [13]. Кроме того, в зальбандах микротрещин, залеченных в центральной части Fe-фосфатами, наблюдаются колломорфные формы марказита шириной около микрона, сформированные, судя по морфологии, бактериями. В этом же горизонте на поверхности некоторых микросамородков железистой платины отмечаются нарастания более позднего гипергенного Au.

Присутствие бактериального Au в россыпях Салаирского кряжа устанавливается по наличию бактериальных форм на поверхности некоторых золотин и реликтовых форм бактерий, состоящих из Au. Так, в шлихах богатых Au, из максимально продуктивных участков золотоносных россыпей, приуроченных к местам развития выветрелых кварц-альбит-серицит-анкеритовых метасоматитов, обнаружены золотые сфероиды, с просматриваемыми на поверхности структурами бактериальных форм, близких по сложению формам, полученным экспериментально [13]. Внутри одной из золотин, с пробностью Au 900 ‰, диаметром около 4 мм, с помощью электронного микроскопа обнаружено скопление мелких частиц высокопробного Au (>960 ‰) размером первые мкм и редкоземельного фосфата (?). Последний минерал совместно с карбонатами слагает трубчатые железо-фосфатные скелеты колоний мшанок [4, 5], что свидетельствует об образовании Au с участием микроорганизмов. Внутри некоторых золотых сфероидов с пробностью в среднем 850 ‰, часто отмечаются пустоты нитевидной формы, в сечении около 3–10 мкм. По внешнему виду они близки нитчатым формам бактерий [3, 7, 13], внутри которых наблюдается мелкое Au. Ранее мы уже показывали результаты, доказывающие активное поглощение Au микроорганизмами, в т. ч. свидетельства участия бактерий (*Ralstonia metallidurans*) в формировании своеобразной изъеденной поверхности золотин, которая отнесена к типу «бактериоморфной». Кроме того, на поверхности «гвинейских» золотых сфероидов методом СЭМ обнаружены участки, обогащенные C и N, а, по данным КР-спектроскопии, на их поверхности фиксируются органические соединения: серин, аланин, глицин [6].

Тот факт, что процессы гипергенного перераспределения благородных металлов происходят в «обычных» приповерхностных условиях, свидетельствует о появлении (нарастание) Au на окисленных медной и хромовой проволоках, обнаруживаемых при повторной переработке старых россыпей Салаира. И хотя подобные примеры давно известны и описаны в достаточной степени в литературе [18 и др.], каждая новая находка вызывает интерес исследователей, ранимируя извечный вопрос – растёт ли Au в россыпях? Накапливающийся объём информации свидетельствует о далеко не инертном поведении Au в гипергенной зоне [6, 9, 21] и о явно недоучтенной роли при этом микроорганизмов.

Выполнено при частичной поддержке РФФИ (гранты 15-05-06950, 16-05-00353).

1. Амосов Р. А., Васин С. Л. Золотые микрофоссилии // Руды и металлы. 1993. № 3. С. 101–107.
2. Амосов Р. А., Васин С. Л., Щегольков Ю. В. и др. О первой находке полных прсевдоморфоз самородного золота по диатомовым водорослям // Докл. РАН. 1996. № 4. С. 509–514.
3. Бактериальная палеонтология / Ред. А. Ю. Розанов. М: ПИН РАН. 2002. 188 с.
4. Бакшеев Н. А., Будников И. В., Михаревич М. В. и др. Особенности формирования позднеэоценовых отложений Еловского участка (Салаирский кряж). // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2013. №3. С. 68–75.
5. Бакшеев Н. А. О природе карбонатных конкреций, и не только, из позднеэоценовых отложений юга Западной Сибири и Казахстана // Матер. Международ. конф. «Геология, минерагения и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов Республики Казахстан». Алматы: ИГН, 2015. С. 42–48.
6. Жмодик С. М., Калинин Ю. А., Росляков Н. А. и др. Наночастицы благородных металлов в зоне гипергенеза // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54, №2. С. 168–183.
7. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / М. М. Астафьева, Л. М. Герасименко, А. Р. Гептнер и др. М.: ПИН РАН. 2011. 172 с.

8. Калинин Ю. А., Росляков Н. А., Прудников С. Г. Золотоносные коры выветривания Сибири. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. 339 с.
9. Калинин Ю. А., Ковалёв К. Р., Наумов Е. А. и др. Золото коры выветривания Суздальского месторождения (Казахстан) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 3. С. 241–257.
10. Коробушкина Е. Д., Бирюзова В. И., Коробушкин И. М. и др. Зарождение кристаллов золота в клетках дрожжей и его аккумуляция // Докл. АН СССР. 1989. Т. 304, № 2. С. 431–433.
11. Коробушкина Е. Д., Коробушкин И. М. Взаимодействие золота с бактериями и образование «нового» золота // Докл. АН СССР. 1986. Т. 287, № 4. С. 978–980.
12. Куимова Н. Г., Жилин О. В. Биогенная кристаллизация ионного золота микромицетами // Докл. РАН. 2002. Т. 386, № 6. С. 809–812.
13. Куимова Н. Г., Моисеенко В. Г. Биогенная минерализация золота в природе и эксперименте // Литосфера. 2006. № 3, С. 83–95.
14. Лукашёв К. И. Основы литологии и геохимии коры выветривания. Мн.: Изд-во АН БССР, 1958. 470 с.
15. Маракушев С. А., Ковалевская А. А., Сафронов П. П. Бактериальная перекристаллизация золота // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308, № 2. С. 482–485.
16. Маракушев С. А. Геомикробиология и биохимия золота. М.: Наука, 1991. 109 с.
17. Моисеенко В. Г., Маракушев С. А. Бактериальное концентрирование, укрупнение и «облагораживание» золота в зоне окисления золоторудных месторождений, корях выветривания и россыпях. Благовещенск: АКННИИ ДВО АН СССР, 1987. 44 с.
18. Петровская Н. В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 345 с.
19. Русанов Г. Г., Орлова Л. А. Радиоуглеродные датировки (СОАН) Горного Алтая и Предальтайской равнины. Каталог. Бийск: ФГБОУ ВПО «АГАО», 2013. 291 с.
20. Школьник Э. Л., Жегалло Е. А., Батурин Г. Н. и др. Исследование марганцевой и железомарганцевой минерализации в разных природных обстановках методами сканирующей электронной микроскопии // Ред. Г. Н. Батурин. М.: Эслан, 2012. 472 с.
21. Freyssinet P., Butt C. R. M., Zeegers H. The distribution of gold in lateritic Weathering profiles: a comparison between West Africa and Western Australia // 8th IAGOD Symp. In conjunct, with Int. Conf. Miner. Deposits Model. Progr. with Abstr. Ottawa, 1990. P. 102–103.
22. Reith F., Rogers S. L., McPhail D. C., Webb D. Biomineralization of Gold: Biofilms on Bacterioform Gold // Science. 2006. Vol. 313. P. 233–236.
23. Reith F., Stewart L., Wakelin S. A. Supergene gold mineralization: Secondary and nano-particulate gold from southern New Zealand // Chemical Geology. 2012. Vol. 320–321. P. 32–45.

УДК 550.4

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ ФЛЮОРИТОВЫХ РУДОПРОЯВЛЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БАХТИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ)

Н. О. Крюченко, Э. Я. Жовинский

Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, пр. Палладина 34,
03680 Киев, Украина; nataliya-kryuchenko@mail.ru

В своих монографиях К. И. Лукашёв большое внимание уделял геохимии природных вод [1]. Им изучался химический состав рек БССР с целью выявления источников их загрязнения, в результате чего были выявлены отдельные микроэлементы (Br, J, Sr), которые не только характеризуют природный фон региона, но могут иметь и поисковое значение.

Наша работа посвящена выявлению флюоритовых рудопроявлений на территории Бахтинского рудного поля на основе гидрогеохимических исследований.

Бахтинское рудное поле расположено на юго-западной окраине Восточно-Европейской платформы и по повышенным содержаниям F в осадочно-вулканогенных формациях выделяется как фтороносная геохимическая провинция, для которой характерна флюоритовая минерализация. Бахтинское месторождение было открыто Э. Я. Жовинским при проведении геологосъёмочных работ в 1962 г. [2]. Рудопроявление приурочено к ольчедаевским и ямпольским полевошпат-кварцевым песчаникам, в которых оно образует цемент замещения и прожилки. Жильные выделения флюорита развиты не только в осадочных отложениях, но и в породах кристаллического фундамента. Флюорит локализуется в ольчедаевских песчаниках и образует две рудные залежи (верхнюю и нижнюю) пластообразной формы, состоящие из разобленных линзовидных тел на площади 700 × 1 200 м, глубина залегания – 21,3–118,5 м. Суммарная мощность флюоритсодержащих песчаников изменяется от 0,4 до