

РЕЦЕНЗИИ

УДК 553.411:579

**О КНИГЕ "АККУМУЛЯЦИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЗОЛОТА
МИКРООРГАНИЗМАМИ, ВЫДЕЛЕННЫМИ ИЗ РУДНЫХ И РОССЫПНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ"***

В.А. Степанов

Амурский комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Благовещенск

В издательстве «Дальнаука» вышла сравнительно небольшая, но прекрасно оформленная монография, посвященная новому и актуальному вопросу аккумуляции и кристаллизации золота микроорганизмами. Исследования проводились в лабораторных условиях с природными штаммами микроорганизмов, собранными из зоны гипергенеза рудных и из россыпных месторождений золота Приамурья. Работа выполнена, главным образом, в лаборатории молекулярной фитопатологии и микробиологии (ныне лаборатории микробиологии и биохимии) АмурКНИИ ДВО РАН, созданной по инициативе и при научном руководстве академика В.Г. Моисеенко. Основная задача монографии, по мнению ее автора, – показать возможное участие микроорганизмов в геохимических циклах концентрирования и рассеивания золота.

Первая и вторая главы являются компилятивными. Первая глава посвящена теоретическим вопросам поведения золота в экзогенных условиях. В ней рассматриваются формы миграции и переотложения золота в зоне гипергенеза. Показано, что золото мигрирует в форме хлоридов, комплексных и органических соединений, коллоидных растворов, тонких взвесей и суспензий. На геохимических и биогеохимических барьерах происходит осаждение из растворов и образование «нового» золота. Не исключено участие в этом процессе микроорганизмов. Детально рассмотрены особенности миграции золота в условиях таежно-мерзлотных ландшафтов, характерных для Приамурья. Отмечено, что большинство золото-сульфидных месторождений в этих условиях имеют зону окисления сульфатного типа, что может быть результатом деятельности микроорганизмов. В конце

главы описаны немногочисленные находки фоссилезированных микроорганизмов, выполненные самородным золотом. Они обнаружены в россыпях золота разных регионов, в том числе и Приамурья. Эти находки позволили Р.А. Амосову выделить особую группу биогенного золота, образование которого происходило при участии микроскопических водорослей, бактерий и продуктов их метаболизма (Амосов, Васин, 1993).

Во второй главе рассмотрены кларки концентрации золота в растениях и животных. Большое внимание уделено принципиальной возможности миграции золота при помощи микроорганизмов (бактерий, водорослей и грибов) и продуктов их жизнедеятельности, аккумуляции ионного золота микроорганизмами, взаимодействию микроорганизмов с коллоидным золотом. В заключении главы подробно описаны методы получения коллоидного золота, его состав и структура.

В следующих главах рассматриваются результаты экспериментальных работ автора по аккумуляции и кристаллизации золота микроорганизмами. В третьей главе подробно рассмотрены комплексы микроорганизмов, выявленные в зоне окисления золоторудных месторождений и в россыпях. Установлено, что в обоих случаях выделены одни и те же таксономические группы микроорганизмов. В структуре бактериальных комплексов преобладают гамма-протеобактерии и актинобактерии, количество спорообразующих бактерий относительно невелико. Микрококки встречаются, главным образом, на отвалах отработанных россыпей. Комплекс микромицетов отличается небольшим разнообра-

*Куимова Н.Г. Аккумуляция и кристаллизация золота микроорганизмами, выделенными из рудных и россыпных месторождений. Владивосток: Дальнаука, 2004. 135 с.

ем видов. Среди грибов наиболее распространен *Penicillium* sp. Однако в россыпях комплекс микроорганизмов отличается большей численностью и видовым разнообразием.

Типичные, часто встречающиеся штаммы бактерий и микроскопических грибов были выделены в чистые культуры. Проведено тестирование на активность их взаимодействия с коллоидным золотом. При этом установлено три типа взаимодействия микроорганизмов с золотом: флокуляция или укрупнение частиц коллоидного золота, гетерокоагуляция – осаждение золотобактериальной массы из раствора и адсорбция на поверхности клеточной стенки. Все три типа взаимодействия микроорганизмов с золотом подтверждены электронно-микроскопическими исследованиями и показаны на микрофотографиях.

Исследование процесса аккумуляции золота микроорганизмами показало, что способны накапливать золото от 30 до 80 % бактерий, выделенных из россыпей, и около 20 %, извлеченных из зоны окисления рудных месторождений. По сравнению с природными штаммами – музейные обладают гораздо более низкими аккумулятивными свойствами. Наиболее активными биосорбентами золота среди бактерий являются штаммы *Bacillus* sp., *Micrococcus luteus*, а среди грибов – представители рода *Penicillium*. Проведен сравнительный анализ аккумуляции золота природными штаммами указанных грибов и микроводорослей, известных наибольшим сродством к ионному золоту. Анализ показал, что биомасса грибов *Penicillium chrisogenum* и *P. luteum* имеет большую емкость извлечения как ионного, так и коллоидного золота по сравнению с водорослями.

Механизмы аккумуляции тяжелых металлов микроорганизмами – бактериями, водорослями, грибами – подробно рассмотрены в гл. 4. Определены следующие основные механизмы аккумуляции металлов из растворов:

- биосорбция металлов клеточной стенкой;
- метаболизм-зависимый транспорт и локализация металлов внутри клетки;
- внеклеточное комплексообразование и осаждение продуктами метаболизма;
- трансформация металлов с помощью ферментных систем.

Явление аккумуляции рассматривается как защитный механизм клетки от токсичного действия тяжелых металлов. Клетки, аккумулирующие металлы в больших количествах, составляют лишь небольшую часть популяции и погибают, устраняя действие токсикантов и сохраняя возможность к репродукции остальных клеток. В отношении золота предполага-

ется, что микроорганизмы используют Au^{+3} как акцептор электронов, получая при этом энергию для роста и развития клеток.

Пятая глава посвящена явлению биосорбции коллоидного золота бактериями и микроскопическими грибами. В ней рассмотрены оптимальные параметры сорбции коллоидного золота биомассой бактерий и микроскопических грибов (*B. megaterium*, *B. subtilis*, *M. luteus*, *P. chrisogenum*), а также возможность селективного извлечения благородных металлов биомассой грибов из многокомпонентных растворов. Опытным путем установлено, что оптимальная биосорбция коллоидного золота бактериями *Bacillus* sp. происходит при температурах 25–28 °С и рН среды от 6 до 7, что отвечает наиболее благоприятным условиям их развития. В отличие от бактерий, максимум извлечения коллоидного золота микроскопическими грибами происходит при более низкой температуре 15–18 °С при рН, равном 5. Установлена двухфазная динамика биосорбции коллоидного золота: на первой стадии происходит быстрое связывание частиц дисперсной фазы клеточной стенкой бактерий и грибов, а затем идет медленный процесс отложения золота на биомассе или перенос его во внутриклеточное пространство.

Механизмы взаимодействия биомассы грибов с коллоидным и ионным золотом различаются. Наиболее вероятными центрами образования координационных связей с ионным золотом являются карбоксильные и гидроксильные группы структурных компонентов клеточной стенки, а связывание коллоидного золота обусловлено образованием координационных связей с карбоксильными и аминокетильными группами полиаминосахаридов клеточной стенки, наиболее активным центром взаимодействия являются карбоксильные группы. В конце главы показана возможность селективного извлечения золота и серебра биомассой микромицетов. При этом увеличению биосорбции золота способствует присутствие ионов железа.

Чрезвычайно интересный в научном и практическом плане процесс биогенной кристаллизации золота описан в гл. 6. Он происходит в результате длительного взаимодействия биомассы с коллоидным или ионным золотом. Для опытов использовались штаммы *Penicillium luteum* и *P. chrisogenum*. Электронно-микроскопические исследования позволили проследить на серии великолепно выполненных фотографий весь процесс аккумуляции и кристаллизации золота от сорбции частиц коллоидного золота на поверхности клеточной стенки до полной инкрустации мицелия металлом через 45–65 суток культиви-

рования. Полученное в результате опытов «биогенное» золото имеет губчатую, рыхлую структуру. Установленные в результате экспериментов факты низкотемпературного образования «биогенного» золота объясняют наличие подобного золота в россыпях. Можно предположить, что ажурные губчатые формы встречающегося в россыпях золота образовались в результате аккумуляции и кристаллизации коллоидного золота микроорганизмами, имеющими нитчатую форму (микроскопические грибы, цианобактерии).

В конце главы помещены результаты экспериментов по кристаллизации ионного золота на биомассе *P. luteum*. Длительность опыта составила 40 суток. За это время произошло осаждение и кристаллизация на биомассе золота в виде дисперсных кристаллов золотисто-желтого цвета. Они имеют форму плоских треугольников, усеченных треугольников и шестигранников, размером до 50 мкм в поперечнике

и толщиной до 1 мкм. При увеличении времени опыта на поверхности кристаллов отлагались тонкие коллоидные ажурные пленки и неправильной формы агрегаты золота.

В заключение отметим, что в монографии Н.Г. Куимовой убедительно доказана роль микроорганизмов в аккумуляции и кристаллизации нового «биогенного» золота как в зоне окисления золоторудных месторождений, так и в россыпях. Большое практическое значение для биотехнологии извлечения золота имеет вывод о том, что природные штаммы бактерий, живущие в пределах рудных и россыпных месторождений золота, гораздо более активны в биосорбции золота. Книга рассчитана на широкий круг специалистов разных специальностей – геологов, биологов и технологов, а также может быть использована в вузах геологической и биологической направленности.

Поступила в редакцию 4 апреля 2005 г.