

**Е.Е. Барабашева**

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУД С ДИСПЕРСНЫМИ ОРГАНО-МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ФОРМАМИ ЗОЛОТА**

*Представлены критерии прогнозов участков концентрирования видимого (жильного) золота и дисперсного органо-металлического золота на основе оценки зон с повышенным содержанием биофильных элементов-спутников золота и содержанию в пробах  $C_{орг}$ .*

*Ключевые слова: биогеохимический рециклинг, органо-металлические формы золота, биогеохимическая ассоциируемость рудообразующих элементов.*

**В** последние годы особенно подчеркивается роль дисперсного и металлоорганического золота при формировании не только золотоносных, но практически всех рудных месторождений и проявлений.

Для протекания любых рудогенетических процессов необходим баланс космических, тектоно-магматических, биотических и твердофазных процессов. При этом органический комплекс работает в верхней части земной коры, неорганический – в нижней. В зоне их пересечений наблюдаются конкурирующие цикличные процессы в виде осадения и новой мобилизации рудного вещества, так называемый биогеохимический рециклинг. Этот направленный процесс приводит к этапному образованию рудных компонентов в составе будущих месторождений [1].

В частности, для золоторудных месторождений предлагаем наличие трех основных генетических этапов. Первый этап перераспределения рудного вещества и создания зон с повышенным содержанием элементов, включает: 1) аккумуляционное накопление и сорбирование биотой рудных компонентов, привносимых магматическими флюидами в мелководные бассейны седиментации; 2) образование

сульфатредуцирующих цианобактериальных комплексов, мобилизирующих и фиксирующих окислительные и восстановительные (редуцирующие) процессы, а также способствующих разделению рудных компонентов на различные составляющие; 3) перевод биотой золота в мобильные формы, его транспортировка при помощи фульвио- и гуминовых кислот в составе металлоорганических комплексов, сорбция последних на геохимических барьерах. Роль биоты на первом этапе определяющая. Второй этап – разрушение металлоорганических комплексов при воздействии повышенных температур, давления, тектонических напряжений, действий растворов и радиогенных эманаций. Углерод терял свою форму, связи в металлоорганических комплексах разрушались, и при наличии вулканической деятельности золото образовывало соединения с серой и мышьяком в виде сульфидов и арсенидов. Освободившийся углерод образовывал молекулярные связи в виде  $CO$ ,  $CO_2$  и ионные связи в виде  $CO_3^{2-}$ , а водород входил в состав гидроксильных групп, повышая, тем самым, щелочность среды. Третий этап – экранирование сульфидного и укрупнение самородного золота прослоями углистого растительного ве-

щества. Фиксированное золото далее связывалось с другими элементами в неорганической фазе.

Хемогенная связь золота на третьем этапе происходила в основном с биофильными элементами. В основу биофильности положена прямая и косвенная связь (ассоциируемость) рудообразующих элементов непосредственно с палеобиотой или продуктами ее метаболизма [2] (таблица).

К первому биофильному типу относятся рудообразующие элементы, напрямую накапливающиеся в тканях живых организмов, а после их отмирания переходящие в осадочные породы.

Второй бактериофильный тип включает элементы, имеющие опосредованную или остаточную связь с органическим веществом и переходящие из минеральной среды в растворимые формы в результате окислительно-восстановительной деятельности бактерий, микроорганизмов и цианобактериальных матов.

В третьем сорбционном типе объединены элементы, которые накопи-

вались в результате процессов биосорбции органическими тканями и продуктами метаболизма при осадко-накоплении.

Четвертый миграционный тип включает элементы, для которых связь с органическим веществом распавшихся организмов происходила только в виде переноса в форме металлоорганических комплексов в составе органических кислот, аминокислот, липидов, белков и прочих органогенных ферментов.

Предполагается существование единой полигенной рудообразующей системы, в которой золото, сера и углерод генетически связаны на уровне биогеохимического рециклинга в составе гидротермально-метасоматических флюидов, а биота создает конкурирующие циклические процессы в виде аккумуляции, переноса, осаждения и новой мобилизации рудного вещества.

Накопление золота и сопутствующих металлов происходило в результате образования биогеохимических аномальных зон в условиях регенерационного рудообразования, осно-

### Биогеохимическая ассоциируемость рудообразующих элементов

Типы взаимосвязи рудообразующих элементов с органическим веществом	S P Ca Mg Fe	Si Cu Ni Co Mn	U Th	Au Ag Pt	Mo, Se	Pb, Zn	W Sn?	As Tl Cd Sb?	Редкие, редкоземельные	Hg
1. Непосредственная концентрация рудообразующих элементов в живых клетках и макробиоте	+++	+	-	+-	-	-	-	-	-	-
2. Рудообразующие элементы, переводимые в растворимые формы микроорганизмами или бактериями	+++	++	++	++	+	++	+	+	+	+(?)
3. Рудообразующие элементы, накапливающиеся в результате процессов сорбции и биосорбции органическим веществом	++	+	++	+++	++	+	+	+	++	-
4. Рудообразующие вещества, мигрирующие в форме органических комплексов	+	+	++	+++	+	+	+	+	+	-

ванного на постадийных и циклических процессах накопления, растворения, трансформации и переотложения золотоносных комплексов. Причем, сопутствующие металлы (Cu, Mo, W, Pb, Zn, Fe и др.) накапливались, как правило, в жильных линейных зонах, находящихся либо в теле интрузии, либо в непосредственной близости от нее. Что касается золота, то для него присущи жилы и штокверки с локализацией, как правило, не в интрузиях, а в окружающих их метаморфизованных породах при интенсивном метасоматозе. Поэтому, проявление серицитизации и листвинизации, наличие нескольких генераций кварца или халцедона (особенно мелкокристаллических тонкопосчатых), специфические кристалломорфические разновидности сульфидных минералов являются основными минераграфическими критериями образования дисперсных руд золота [10].

На основе предлагаемой модели рудообразования разработана методика прогнозирования эндогенных месторождений, в которой основными критериями потенциальной рудоносности оцениваемых участков земной коры являются не только признаки их тектономагматической активизации (наличие интрузивных тел соответствующего вещественного состава, разломов, зон складчатости, будинажа и метасоматических изменений пород), но и его ядерно-геохимические и биогехимические (а точнее палеобиогехимические) особенности.

В зависимости от соотношения процессов концентрирования и рассеяния рудообразующих элементов в каждом из этих биогехимических циклов, при «подключении» гидротермальных и метасоматических процессов, могла иметь место их направленная локальная аккумуляция, вплоть до образования собственных рудных минералов. Индикаторами такого направления

развития рудогенетических событий, с нашей точки зрения, могут быть проявление вариаций содержаний углерода и его изотопного состава в метаморфических и осадочных горных породах потенциально продуктивного возраста, в сочетании с изменчивыми соотношениями концентраций ассоциирующих и не ассоциирующих с золотом рудообразующих элементов с определенной общностью структуры атомных ядер.

Золото ассоциирует с широким спектром элементов, различающихся как атомной массой, так и структурой атомного ядра и электронных оболочек. Вместе с тем можно отметить существенную закономерность: золото в значительно большей степени ассоциирует с теми элементами периодической системы, которые относительно своих соседей в ней проявляют биогехимическую связь с органическим веществом и углеродом, а именно [10]:

1) группа ультра легких элементов –  $B_5 / Li_3 - Be_4$ ;

2) группа легких элементов –  $S_{16} - P_{15} - Si_{14} / Al_{13}$ ;

3) группа средних элементов –  $As_3 - Se_{34} / Ge_{32}, Cu_{29} / Ni_{28} - Co_{27} - Fe_{26}$ ;

4) группа тяжелых элементов –  $Mo_{42} / Nb_{41}; Ag_{47} - Pd_{46} - Rh_{45} / Cd_{48} - In_{49}; Sb_{51} - Te_{52} / Sn_{50}; W_{74} / Ta_{75}$ .

При этом интересно отметить, что среди группы ультра тяжелых элементов –  $Hg_{80} - Tl_{81} / Pb_{82} - Bi_{83}$ , ассоциирующих с золотом, не все из них имеют непосредственную связь с биотической средой.

Внутри четырех выделенных биогехимических групп элементов прямые и альтернативные ассоциаты золота выделены по относительному средству к нему.

Из рассмотренных «геохимически альтернативных» элементов определенным геохимическим «антиподом» прямых спутников золота является только олово, поскольку не только в

оловосодержащих минералах содержание примесного золота очень мало, но и не встречается парагенезисов касситерит и/или станин – самородное золото. В месторождениях коренных руд, как правило, даже арсенипирит, халькопирит и пирит, которые являются обычными концентраторами золота в месторождениях сульфидно-кварцевой и сульфидной формаций, в оловорудных месторождениях не проявляют золотоносность. В некоторых россыпях Забайкалья как уникальные случаи известны участки совместного нахождения касситерита и золота, но, учитывая роль процессов механического переотложения этих минералов, такие факты вряд ли можно связывать с их общим первичным образованием. Олово может образовывать с золотом преимущественно области сопряжения металлогенических провинций.

Молибден и вольфрам, хотя и не содержат в собственных минералах дисперсное золото, могут формировать с ним минеральные парагенезисы в комплексных месторождениях (шеелит – самородное золото, молибденит – самородное золото или молибденит – золотосодержащий пирит и т.д.) и даже совместные металлогенические пояса. Поэтому правомерно рассматривать их альтернативность по отношению к ниобию и танталу с позиций минералого-геохимических связей с золотом. Никель, кобальт также могут непосредственно ассоциировать с золотом только при его дисперсной форме нахождения в сульфидных рудах (на уровне минеральных парагенезисов никельсодержащий пирротин и пентландит – золотосодержащие пирит и халькопирит). Но относительно меди, имеющей непосредственное геохимическое сродство с золотом, эти металлы могут рассматриваться как определенные антиподные ассоциаты. Это подтверждается, в частно-

сти, и таким известным фактом, что в медно-никелевых рудах содержание золота прямо пропорционально соотношению медьсодержащих и железоникелевых минералов, концентрирующих платиноиды.

В целом, для золота объективно можно выделить систему прогнозных ассоциирующих и геохимически альтернативных групп элементов, по изменению соотношения концентраций которых можно количественно оценивать перспективы рудоносности массивов. Относительное локальное повышение концентраций элементов-спутников золота (по отношению к геохимически альтернативным элементам) и абсолютное повышение содержания группы «сверхтяжелых» элементов-спутников золота на фоне соответствующих рудоконтролирующих тектоно-магматических структур (разломов и трещин, даек, участков с интенсивной изменчивостью состава пород внутри генетических групп), очевидно, означает наличие потенциально благоприятной обстановки для формирования золоторудных месторождений. При этом углерод, в силу как рассеивающей роли по отношению к золоту, так и концентрирующей (сорбционной) может быть индикатором интенсивности процессов его перераспределения и накопления. Относительная изменчивость как концентраций углерода, так и его изотопного состава в метаморфических породах и метасоматитах может служить наряду с соотношением изменчивости концентраций выделенных выше групп элементов, критерием оценки рудоносности и наличия дисперсных форм нахождения золота.

Для золота присущи, в основном, жилы и штокверки, но они локализируются не в интрузиях, а в метаморфизованных породах при интенсивном метасоматозе. Интрузия находится, как правило, рядом под рудным те-

лом, инициируя тектономагматические процессы (нарушение сплошности массивов), термоградиенты и источники воды в постепенном, а не динамичном режиме. Гидротермальное золото косвенно (не напрямую) связано с оруденением. Накопление как золота, так и сопутствующих металлов происходило в результате образования биогеохимических аномальных зон.

Первоначально устанавливают зоны с повышенным содержанием элементов-спутников золота, с которым оно образует природные сплавы или минералы. При этом возможен выборочный изотопный анализ элементов, мигрирующих совместно с золотом (Ag, S, Pb, Hg). Кроме того, по содержанию в пробах Сорг отбиваются предполагаемые участки концентрирования видимого (жильного) золота и участки с дисперсной формой золота. По полученным результатам осуществляется выделение перспективных площадей для проведения геологораз-

ведочных работ на стадии предварительной разведки.

Типы золото-углеродистых формаций в настоящее время дают значительную часть добытого золота на крупнейших месторождениях Олимпиада и Мурун-Тау, в перспективе золотодобыча на месторождениях Сухой Лог и в Ленском золотоносном районе. Для Забайкальского края месторождения этих формаций изучены очень слабо. При прогнозе подобных месторождений необходимо учитывать не только литологический фактор и связь оруденения с зонами линейных дислокаций, но и наличие источника органогенного углеродистого вещества, способствующего многократному перераспределению и концентрированию золота. Поэтому необходимо обследование находящихся в непосредственной близости от зоны оруденения осадочных и метаморфических пород на предмет нахождения в них органических остатков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабашева Е.Е. О роли биогеохимического рециклинга в образовании рудных месторождений // Вестник ЗабГК. – 2011. – № 4. – С. 59–61.
2. Барабашева Е.Е., Секисов А.Г., Манзырев Д.В. Ядерногеохимические и палеобиогеохимические предпосылки поисков оруденения с дисперсным золотом на территории Забайкальского края // Руды и металлы № 2. – 2011. – С. 32–36.
3. Коробушкина Е.Д., Коробушкин И.М. Взаимодействие золота с бактериями и образование «нового» золота // Доклады АН СССР. – 1986. – Т. 287. № 4. – С. 978–980.
4. Куимова Н.Г., Моисеенко В.Г. Биогенная минерализация золота в природе и эксперименте // Литосфера. – 2006. – № 3. – С. 83–95.
5. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. – М.: Наука, 1964. – 314 с.
6. Маракушев А.А., Русинов В.Л. Природа золотоносности углеродистых толщ // Доклады академии наук. – 2005. – № 6. – С. 515–520.
7. Меретуков М.А. Золото и природное углеродистое вещество. – М.: Руды и металлы, 2007. – 112 с.
8. Моисеенко В.Г., Маракушев С.А. Бактериальное концентрирование, укрупнение и «облагораживание» золота в зоне окисления золоторудных месторождений, корках выветривания и россыпях. – Благовещенск: АКННИИ ДВО АН СССР, 1987. – 44 с.
9. Немеров В.К., Развозжаева Э.А., Спиридонов А.М. и др. Нанодисперсное состояние металлов и их миграция в углеродистых природных средах // Доклады академии наук. – 2009. – № 2. – С. 233–236.
10. Секисов А.Г. и др. Геолого-технологическая оценка и новые геотехнологии освоения природного и техногенного золотосодержащего сырья Восточного Забайкалья. – Чита: ЗабГУ, 2011. – 312 с.
11. Секисов А.Г., Зыков Н.В., Королев В.С. Дисперсное золото. Геологический и технологический аспекты. – Чита: ЧитГУ, 2007. – 269 с. **ГИАБ**

Барабашева Е.Е. – кандидат геолого-минералогических наук, доцент,  
e-mail: barabasheva@mail.ru, Забайкальский государственный университет.

---

UDC 553(073)

**PREDICTION OF ORE DEPOSITS-DISPERSED ORGANOMETALLIC FORM OF GOLD**

Barabasheva E.E., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: barabasheva@mail.ru, Trans-Baikal State University, Chita, 672030, Russia.

---

*The paper presents the criteria of weather stations visible concentration (core) of gold and particulate organo-metallic gold on the basis of the assessment of a high content of elements biophylic satellites and gold content in the samples Sorgue.*

*Key words: biogeochemical recycling, organometallic form of gold, biogeochemical associated ore-forming elements.*

**REFERENCES**

1. Barabasheva E.E. *Vestnik Zabaikal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011, no 4, pp. 59–61.
2. Barabasheva E.E., Sekisov A.G., Manzyrev D.V. *Rudy i metally*, no 2011, pp. 32–36.
3. Korobushkina E.D., Korobushkin I.M. *Doklady AN SSSR*, 1986, vol. 287, no 4, pp. 978–980.
4. Kuimova N.G., Moiseenko V.G. *Litosfera*. 2006, no 3, pp. 83–95.
5. Manskaya S.M., Drozdova T.V. *Geokhimiya organicheskogo veshchestva* (Geochemistry of organic substance), Moscow, Nauka, 1964, 314 p.
6. Marakushev A.A., Rusinov V.L. *Doklady akademii nauk*. 2005, no 6, pp. 515–520.
7. Meretukov M.A. *Zoloto i prirodnoe uglerodistoe veshchestvo* (Gold and natural carbonaceous substance), Moscow, Rudy i metally, 2007, 112 p.
8. Moiseenko V.G., Marakushev S.A. *Bakterial'noe kontsentrirovanie, ukрупnenie i oblagorazhivanie zolota v zone okisleniya zolotorudnykh mestorozhdenii, korakh vyvetrivaniiya i rossypyakh* (Bacterial concentration, agglomeration and «purification» of gold in oxidation zones at gold ore deposits, in mantles of waste and in placers), Blagoveshchensk, AKNNII DVO AN SSSR, 1987, 44 p.
9. Nemerov V.K., Razvozzhaeva E.A., Spiridonov A.M. *Doklady akademii nauk*. 2009, no 2, pp. 233–236.
10. Sekisov A.G. *Geologo-tehnologicheskaya otsenka i novye geotekhnologii osvoeniya prirodnogo i tekhnogennogo zolotosoderzhashchego syr'ya Vostochnogo Zabaikal'ya* (Geological-technological assessment and new geotechnologies for gold extraction from natural occurrences and mine waste in the East Transbaikal), Chita, ZabGU, 2011, 312 p.
11. Sekisov A.G., Zыkov N.V., Korolev V.S. *Dispersnoe zoloto. Geologicheskii i tekhnologicheskii aspekty* (Dispersed gold. Geological and technological aspects), Chita: ChitGU, 2007, 269 p.



---

**НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»**



**Основы методологии горной науки**

Аренс В.Ж.

Год: 2014, 2-е издание

Страниц: 223

ISBN: 5-978-5-98672-358-7

UDK: 622.001:622.014

В книге дана история горного дела и науки о нем, пути их развития и преобразования. Ставятся цели и задачи горной науки, даются знания, творческие методы, а также приемы их решения. Рассматриваются вопросы организации НИР, рекламы, менеджмента, маркетинга и бизнеса в науке. Книга написана для того, чтобы попытаться понять мир, окружающий горного инженера, научиться управлять своими мыслями, найти правильный путь в решении поставленных жизнью задач и получить удовольствие от проделанной работы.