

**А.Г. Секисов, А.Ю. Лавров, В.П. Мязин,
Г.Ю. Попова, А.И. Милюкина**

ОЦЕНКА ПРИРОСТА ЗАПАСОВ ЗОЛОТА ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЕГО ДИСПЕРСНЫХ ФОРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Предложена методика оценки прироста запасов золота, учитывающая наличие его сложно извлекаемых дисперсных форм, не выявляемых стандартными методами анализа и не извлекаемых цианидными растворами. Доказано, что при использовании выщелачивающих растворов с активными компонентами из кристаллической решетки минералов-концентраторов могут быть извлечены дисперсные включения золота, за счет чего может быть обеспечен прирост запасов золота в месторождении, количественную оценку которого целесообразно осуществлять с приведением по извлекаемости и дополнительным капитальным и эксплуатационным затратам.

Ключевые слова: методика оценки, запасы золота, извлечение, активационное выщелачивание, дисперсные формы золота.

Основной геохимической особенностью золота является широкое разнообразие форм его нахождения в минеральном веществе. Начиная с уровня 0,5 мкм и менее, как было отмечено еще известным специалистом в области минералогии и геохимии золота Н.В. Петровской, возникают проблемы с его идентификацией и определением содержания, но наиболее сложными для исследования и извлечения являются частицы золота или содержащих его соединений размером диапазона менее 0,1 мкм.

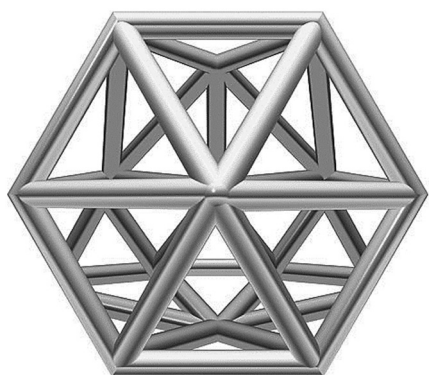
Для выявления субмикронного золота (диапазона 0,1–1 мкм) могут быть использованы методы прямого (при пробирной плавке) или предварительного окисления (при геолого-технологическом тестировании) содержащей его минеральной матрицы (сульфидной, сульфоарсенидной, сульфосолевой) или связанного с ним цементирующего субстрата (например, глинистого с органическим веществом руд Карлинской провинции). Золото

или его соединения с другими элементами в минеральном веществе имеющие размеры менее 0,1 мкм (наноразмерное золото) выявляется не полностью при плавке и купелиции вследствие следующих причин:

1. Часть золота, находящегося в алюмо-кремниевом-магнелии матрице преимущественно в форме атомарно-ионных структур внедрения, переходит в расплав с запаздыванием относительно процесса восстановления свинца и поэтому частично остается в шлаке.

2. Золото, химически связанное с органическими лигандами, при плавке может быстро переходить в газовую фазу и теряться с парами. Кроме того, высказана интересная гипотеза о возможном нахождении золота в минералах-носителях форме комплексов в поровых растворах (проф. П.А. Игнатов РГГРУ), которое также будет теряться с отделяющейся газовой фазой.

3. Золото, включенное в минеральную матрицу в форме кластеров при



Кластер золота, состоящий из 16 атомов (рисунок с сайта *Pacific Northwest National Laboratory*)

образовании сплавов со свинцом, образует в нем неравномерно распределенные наноразмерные скопления и, соответственно, при последующей купеляции может не концентрироваться в корольке, а частично пенетрировать вместе со свинцом в пористый материал купели (капели).

4. При разварке королька в горячей азотной кислоте часть кластерного золота, образовавшееся при купеляции метастабильные связи с серебром в поверхностном слое, переходит в раствор в виде моноэлементных коллоидных частиц.

5. Золото, кластеры которого в минеральной матрице окружены элементами слабо реагирующими с компонентами шихты (мышьяк, сера, свинец, висмут, сурьма, теллур и др.), остаются в шлакообразующей фазе расплава.

В составе субмикронного золота целесообразно выделять собственно дисперсное, главным критерием отличия которого от микроскопического и субмикроскопического является преобладание его межатомных связей с другими химическими элементами в минерале-носителе над моноэлементными связями (золото-золото).

Лай Шенг Ванг (Lai-Sheng Wang) с соавторами (отдел энергии Тихоокеанской северо-западной национальной

лаборатории), получили моноэлементные кластеры золота, являющиеся аналогами фуллеренов – наноструктур углерода, имеющих форму многогранника с расположением атомов в вершинах правильных шестиугольников (рисунок). Фуллереноподобные кластеры золота состоят из 16, 17 или 18 атомов, располагаемых в вершинах правильных треугольников, поэтому в минеральном или минерально-органическом веществе атомы золота, образующие такие кластеры, будут иметь химические связи преимущественно с атомами других элементов, в том числе углерода. Диаметр полости внутри кластера золота равен 6 ангстрем, что позволяет включать в нее атомы (ионы) меньших размеров.

Исследовательская группа под руководством Ванга установила, что оптимальное число атомов золота в кластерах – 16, 17 и 18. Меньшее число атомов золота в кластере приводит к образованию плоских наноразмерных структур, большее – к формированию плотных комплексов, исключающих возможность нахождения в них каких-либо примесных атомов.

Эти факты позволяют сделать предположение о том, что в минеральном веществе наноразмерные включения благородных металлов могут быть двух принципиально различных типов: условно моноэлементные кластеры, свойства которых определяются металлическими связями, и кластеры с преобладанием связей с атомами кристаллической решетки и/или атомами других примесных элементов. Большинство химиков под кластерами понимают наноразмерные структуры, основу которых составляет «ядро», состоящее из группы сближенных атомов металлов и окружающих ее лигандов. Поэтому первый тип кластеров целесообразно отнести к самостоятельной разновидности наноразмерных включений самородного золота, а вторые –

к кластерной разновидности полиэлементных форм нахождения золота в минеральном веществе, т.е. к кластерному дисперсному золоту.

При пробоподготовке руд и хвостов обогащения с дисперсным (имеющим преимущественно связи с атомами других макро и микроэлементов кристаллической решетки) и кластерным (преимущественно моноэлементным, наноразмерным) золотом для его последующего полноценного перевода в расплав или раствор авторами предлагается осуществлять предварительную микро и наноструктурную трансформацию кристаллических решеток за счет длительной (более 6 часов) механохимической активации руды в мельнице (или на рольганге). К подготавливаемой минеральной массе добавляется раствор соответствующего состава, прошедший фотоэлектрохимическую обработку. Кроме того, к руде добавляется металлический свинец и некоторые другие химически чистые присадки а также ионообменная смола, прошедшая фотоэлектрохимическую обработку в растворе, содержащем ионы серебра и активные соединения водорода и кислорода, проникающими в поровое пространство минералов-носителей золота и частично в междоузельное пространство их кристаллической решетки. Нами обоснована гипотеза о том, что за счет изменения химических связей при бародиффузии протонов и гидроксил-радикалов происходит направленная передислокация и последующая нано и микроагрегация атомов дисперсного золота, а соответственно, существенно повышается вероятность его последующего коллектирования свинцом и серебром при плавке. Причем относительно большие субмикронные включения золота являются «ловушками» для диффундирующих атомов дисперсного золота, отделяющихся от разрушаемых кластеров. Проведен-

ные в Читинско филиале ИГД СО РАН исследования, с использованием этого метода, позволили установить наличие дисперсных форм золота, не выявляемых стандартным анализом как в рудах различных формационных типов так и в техногенном минеральном сырье. Причем величина прироста содержания золота по данным в общей сложности более 100 активированных проб составляла от 20 до 78%.

Для оценки прироста запасов золота, за счет дополнительного извлечения его дисперсных форм, не выявляемых стандартным анализом, авторами предложен новый показатель – коэффициент прироста запасов, представляющий собой соотношение суммы запасов золота в балансовых и забалансовых рудах с приведением по извлекаемости:

Извлекаемость форм золота, выявляемых стандартным анализом, как и в стандартных методиках подсчета запасов, принимается за 1 (т.е. эксплуатационные потери металла не учитываются), а извлекаемость его дисперсных форм, определяется по их выходу в активный фотоэлектроактивированный раствор из хвостов длительного (72 часового) агитационного цианидного выщелачивания. Кроме того, должны быть учтены и относительные дополнительные затраты для извлечения дисперсных форм золота на подготовку активных растворов (т.е. электроэнергию и реагенты, амортизацию фотоэлектрохимических реакторов, расходные материалы).

Таким образом, по предлагаемой методике, в целом учитывается и экономическая значимость приращиваемых запасов золота. Причем появляется возможность и переоценки части забалансовых запасов руд с переводом их в балансовые (при условии, что в конкретном блоке забалансовой руды суммарное приведенное содержание золота будет выше минимального промышленного).

Секисов Артур Геннадьевич – доктор технических наук, заместитель директора по научной работе ИГД СО РАН, директор Читинского филиала ИГД СО РАН на базе ЗабГУ, e-mail: sekisovag@mail.ru;

Лавров Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент,

декан факультета экономики и управления, e-mail: lavrov_2002@mail.ru,

Мязин Виктор Петрович – доктор технических наук, профессор, e-mail: myazinvpchita@mail.ru,

Попова Галина Юрьевна – кандидат технических наук, зав. кафедрой,

e-mail: galina.1965@inbox.ru,

Милюкина Анастасия Игоревна – ассистент кафедры, e-mail: nasta_xp@mail.ru,

Забайкальский государственный университет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Секисов А.Г., Трубачев А.И., Лавров А.Ю., Салихов В.С., Манзырев Д.В., Шевченко Ю.С. Геолого-технологическая оценка и новые геотехнологии освоения природного и техногенного золотосодержащего сырья Восточного Забайкалья: монография. – Чита: ЗабГУ. – 2011. – С. 312.

2. Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Трубачев А.И., Мязин В.П. Методика оценки прироста запасов золота с учетом возможности дополнительного извлечения его дисперсных форм / XIV Международная научно-практическая конференция «Кулагинские чтения»: техника и технологии производственных процессов». – Чита: ЗабГУ, 2014, – С. 18–20. **ПЛАБ**

UDC 553.3'3/9:622(571.54/55)

ANALYSIS OF PHOTOELECTROCHEMICAL GOLD HEAP LEACHING FROM ORE MASS OF USED LEACH HEAPS AND REFRACTORY ORES OF POGROMNOE DEPOSIT

Sekisov A.G., Doctor of Technical Sciences, Deputy Director on Scientific Work, Institute of Mining of SB RAS; Director of Chita Branch of Institute of Mining of SB RAS

on the basis of Transbaikalian State University, e-mail: sekisovag@mail.ru,

Lavrov A.Yu.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: lavrov_2002@mail.ru,

Myazin V.P.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: myazinvpchita@mail.ru,

Popova G.Yu.¹, Candidate of Technical Sciences, Head of Chair, e-mail: galina.1965@inbox.ru,

Milyukina A.I.¹, Assistant of Chair, e-mail: nasta_xp@mail.ru,

¹ Transbaikalian State University, 672039, Chita, Russia.

The method of an estimation of a gain of stocks of the gold, considering presence the disperse forms which are not revealed by standard methods of the analysis and not taken cyanade solution is offered. It is proved, that at use active leach solution for recover disperse inclusions of gold from a crystal lattice of minerals-concentrators. Due to the gain of stocks of gold in a deposit which quantitative estimation it is expedient to carry out with reduction on extraction both to additional capital and operational expenses can be provided.

Key words: method of valuation reserves of gold, extraction, activation leach, dispersed forms of gold.

REFERENCES

1. Sekisov A.G., Trubachev A.I., Lavrov A.Yu., Salikhov V.S., Manzyrev D.V., Shevchenko Yu.S. Geologo-tekhnologicheskaya otsenka i novye geotekhnologii osvoeniya prirodnogo i tekhnogennogo zolotosoderzhashchego syr'ya Vostochnogo Zabaikal'ya: monografiya (Geological-technological evaluation and new geotechnologies for natural and technogenic gold-bearing materials in the East Transbaikalia: Monograph), Chita, ZabGU, 2011, pp. 312.

2. Sekisov A.G., Lavrov A.Yu., Trubachev A.I., Myazin V.P. XIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Kulaginskie chteniya»: tekhnika i tekhnologii proizvodstvennykh protsessov» (Proceedings of XIV Scientific-Practical Kulagin's Lectures on Production Process Technologies and Equipment), Chita, ZabGU, 2014, pp. 18–20.

