

УДК 553.3'3/9:622(571.54/55)



*Секисов Артур  
Геннадиевич  
Artur Sekisov*



*Чечеткин Владимир  
Степанович  
Vladimir Chechetkin*



*Трубачев Алексей  
Иванович  
Aleksey Trubachev*

## **НОВЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЯ**

## **NEW GEOTECHNOLOGIES OF MINERAL RAW MATERIALS DEVELOPMENT (NON-FERROUS AND PRECIOUS METALS) OF EASTERN TRANSBAIKALIE**

---

Приводится характеристика Восточно-Забайкальских месторождений цветных и благородных металлов, разделенных на три группы:

- 1) уникальные и крупные;
- 2) средние и мелкие;
- 3) законсервированные, в которых сосредоточены различные виды минерального сырья.

В горнотехнологических отходах (ГТО), представленных вскрышными породами, бедными и забалансовыми рудами, хвостами обогащения, металлургическими шлаками, продуктами химической переработки, также содержатся многочисленные полезные компоненты.

Существующие технологии извлечения металлов из руд названных месторождений и ГТО не позволяют извлекать их в достаточной мере. В представленной статье обосновывается предложение новых геотехнологий по извлечению ценных компонентов, которые заключаются в:

- а) переводе металлов в жидкую фазу и на сорбенты;
- б) применении ионнообменной сорбции в электрических полях;
- в) использовании кюветного выщелачивание с локальной активацией пульпы

The article provides characteristics of the Eastern Transbaikal deposits of non-ferrous and precious metals, divided into 3 groups:

- a) a unique and large;
- b) medium and small;
- c) conserved in which various kinds of mineral raw materials are presented.

In mining technological wastes (MTW), presented by overburden, poor and off-balance ores, tailings, metallurgical slag, products of chemical processing a number of useful components is also contained.

The existing technologies of metals' extraction from ores of these deposits and the MTW do not allow you to retrieve them enough. The article substantiates the supply of new geotechnologies extraction of valuable components, which are:

- a) transfer of metals in liquid phase and the sorbent;
- b) application of ion-exchange sorption in electric fields;
- c) use of sample leaching with the local activation of the pulp

**Ключевые слова:** месторождения цветных и благородных металлов, природное и техногенное сырьё, жидкая фаза, сорбенты, кюветное выщелачивание

**Key words:** non-ferrous and precious metals, natural and technogenic raw materials, liquid phase, sorbents; ditch leaching

Забайкалье – старейший горнорудный район России, из недр которого длительное время извлекались многие виды полезных ископаемых, и в первую очередь,

цветные и благородные металлы – Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Mo, Cd, Bi, In, Ga, Co, Ni, металлы платиновой группы (МПП) и др.

*1. Типы месторождений цветных и благородных металлов Восточного Забайкалья*

В настоящее время в Восточном Забайкалье разведаны и подготовлены к разработке уникальные и крупные месторождения, относящиеся к различным формационно-генетическим типам, в рудообра-

зующих минералах которых сосредоточены весьма значительные промышленные запасы многих видов полезных ископаемых (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристика уникальных и крупных месторождений цветных и благородных металлов Восточного Забайкалья [по 3, 4, 9, 10, 11, 12]**

Месторождения	Формационно-генетический тип	Главные минералы руд	Полезные компоненты и их содержания в рудах	Промышленные запасы
Удоканское	Медистые песчаники и сланцы	Борнит, халькозин, дигенит, джарлеит, брошантит, малахит, азурит	Cu – 1,56 Ag – 12 г/т Au – 0,0 п г/т	Cu – 20 млн т Ag – 12 тыс. т Au – 22 т
Чинейское	Меденосные габброиды	Халькопирит, пирит, пирротин, МПП	Cu – 0,7 Ni – 0,07 Co – 0,02 Ag – 3 г/т Au – 0,07 г/т МПП – 0,6 г/т	Cu – 4,1 млн т Ni – 492 тыс. т Co – 79 тыс. т Ag – 2,1 тыс. т Au – 44 т МПП – 404 т
Бугдаинское	Золото-молибден-шеелитовый	Молибденит, халькопирит, шеелит, сульфиды Fe, Pb, Zn; золото, серебро, блеклые руды	Mo – 0,071 % WO <sub>3</sub> – 0,034 % Au – 11 г/т Ag – 2,9 г/т Pb – 0,09 % Zn – 0,12 %	Mo – 401 тыс. т W – 202 тыс. т Au – 57 т Ag – 1724 т Zn – 650 тыс. т Pb – 504 тыс. т
Новоширокинское	Золото-сульфидно-полиметаллический	Галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, пирротин, золото, серебро, арсенопирит	Pb – 3,7 % Zn – 1,8 % Au – 3,3 г/т Ag – 86,5 г/т Cu – 0,3 %	Pb – 348 тыс. т Zn – 166 тыс. т Cu – 27700 т Cd – 807 т Au – 31 т Ag – 810 т
Нойонтологийское	Серебро-полиметаллический	Галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит, марказит, блеклые руды, прустит, антимонит, халькопирит, золото и серебро самородные, пирротин	Pb – 2,14 % Zn – 1,13 % Ag – 69,1 г/т Au – 0,85 г/т	Pb – 920 тыс. т Zn – 1091 тыс. т Ag – 4 тыс. т
Быстринское	Медно-порфиновый скарновый	Халькопирит, пирит, арсенопирит, блеклые руды, халькозин, борнит, молибденит, галенит, сфалерит, шеелит, магнетит, серебро и золото самородные	Cu – 1,56 % WO <sub>3</sub> – 0,12 % Ag – 10,7 г/т Au – 0,54 г/т	Cu – 3,8 млн т Au – 132 т Ag – 2624 т

Исходя из анализа приведенных данных, на первое место по разведанным и подготовленным запасам выходит медь (свыше 28 млн т), затем (в тыс. т): цинк – 1917; свинец – 1772; никель – 492; кобальт – 79; серебро – 23; кадмий – 807 т; золото – 167 т.

Освоение названных крупных месторождений требует огромных капитальных вложений, что посильно лишь весьма крупным горнорудным компаниям, например таким, как Норильский никель (Бугдаинское, Быстринское), Удоканская горная компания (Удоканское месторождение),

Металлинвест (Чинейское месторождение) и др. Из названных объектов только два месторождения – Новоширокинское и Нойонтологойское – эксплуатируются.

Для среднего бизнеса наибольший интерес могут представить разведанные средние и даже мелкие месторождения, относящиеся к различным формационно-генетическим типам и характеризующиеся разнообразием минерального состава руд и входящих в них полезных компонентов со своими содержаниями, промышленными запасами (табл. 2).

Таблица 2

**Характеристика разведанных средних и мелких месторождений цветных и благородных металлов Вост. Забайкалья [по 3,4,9,10,11,12]**

Месторождения	Формационно-генетический тип	Главные рудные минералы	Содержание полезных компонентов	Промышленные запасы
Ункурское	Медистые песчаники и сланцы	Халькозин, борнит, халькопирит, малахит, брошантит	Cu – 0,78 % Ag – 68,3 г/т	Cu – 320 тыс. т Ag – 7 тыс. т
Правоингамакитское	Медистые песчаники и сланцы	Халькопирит, борнит, пирит, пирротин	Cu – 0,88 % Ag – 23,9 г/т	Cu – 608 тыс. т Ag – 165 т
Итакинское	Кварц-золото-сурьмяный	Антимонит, арсенопирит, галенит, сфалерит, пирит, золото самородное	Au – 9,3 г/т Ag – 4,5 г/т	Au – 63 т
Уконикское	Золото-кварц-сульфидный	Пирит, пирротин, марказит, арсенопирит, галенит, сфалерит, золото, аргентит, молибденит, блеклые руды	Au – 8,1 г/т, Ag – 27/8 г/т Pb, Zn, Co, Bi, Ge, In, Ga, МПГ	Au – 24,4 т
Александровское	Золото-кварц-сульфидный	Пирит, халькопирит, золото и серебро самородные, молибденит, арсенпирит	Au – 7,9 г/т Ag – 1,8 г/т	Au – 7,5 т Ag – 1,2 т
Талатуйское	Золото-сульфидный	Пирит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, золото и серебро самородные	Au – 8,5 г/т Ag – 5 г/т	Au – 33 т Ag – 19 т
Среднеголотайское	Кварц-золото-сульфидный	Пирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит, золото и серебро самородные	Au – 16,7 г/т Ag – 4 г/т	Au – 10 т Ag – 4 т
Уронайское	Сульфидно-золото-магнетитовый скарновый	Пирит, халькопирит, арсенопирит, магнетит, пирротин, висмутин	Bi – 0,2 % Au – 4,7 г/т Ag – 14 г/т Co – 0,0066 % Cu – 0,14 % As – 0,3-6,0 % Fe – 48-53 %	Bi – 6 тыс. т Au – 12,5 т Cu – 3,7 тыс. т Ag – 48 т Co – 1,43 тыс. т

Общие промышленные запасы полезных компонентов в средних и мелких месторождениях составляют: медь – 1,3 млн т; другие металлы (тыс. т): серебро – 138;

висмут – 6; кобальт – 1,43; золото – 150,4 т; прогнозные ресурсы – медь – 943 тыс. т; кобальт – 4 тыс. т; висмут – 16,2 тыс. т; серебро – 3,13 тыс. т; золото – 124 т. Поч-

ти все названные месторождения (кроме Александровского) остаются за пределами освоения.

Следующая группа промышленных запасов цветных и благородных металлов сосредоточена в довольно многочисленных объектах месторождений, которые ранее

эксплуатировались, а потом в силу ряда объективных и субъективных причин, их работа приостановлена, но в их недрах законсервированы довольно значительные объемы запасов по многим видам полезных компонентов (табл. 3).

Таблица 3

**Характеристика законсервированных месторождений цветных металлов и золота Восточного Забайкалья [по 3, 4, 10, 11, 12]**

Месторождения	Формационный тип	Рудные минералы	Полезные компоненты	Промышленные запасы
Ключевское	Золото-пирит-турмалиновый	Пирит, пирротин, турмалин, золото, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, фрейбергит	Au – 2,25 г/т Ag – 2,12 г/т	Au – 62 т Ag – 57 т
Карийское	Золото-актинолит-магнетитовый	Пирит, золото, пирротин, магнетит, турмалин, актинолит	Au – 9,9 г/т	Au – 6 т (+50 т прогноз)
Дарасунское	Золото-сульфидный	Пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, золото и серебро самородные и др.	Au – 15,6 г/т Ag – 30,3 г/т Bi – 0,014 % Cu – 0,37 %	Au – 59 т Ag – 115 т Bi – 566 т Cu – 15 т As – 51 т
Балейское	Золото-кварцевый	Пирит, халькопирит, теллуриды, золото и серебро самородные	Au – 2,1 г/т Ag – 1,5 г/т	Au – 40 т Ag – 20 т
Тасеевское	Тот же	Те же	Au – 3,5 г/т Ag – 7,3 г/т	Au – 45 т Ag – 184 т
Акатуевское	Сульфидно-полиметаллический	Галенит, сфалерит, пирит, пирротин, халькопирит, золото и серебро самородные	Pb – 2,8 % Zn – 3,9 % Au – 0,9 г/т Ag – 69 г/т Cd – 0,035 %	Pb – 17 тыс. т Zn – 24 тыс. т Au – 233 кг Ag – 18 т Cd – 85 т
Воздвиженское	Тот же	Пирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, халькопирит, станнин, бурнонит, джемсонит	Pb – 3,44 % Zn – 4,29 % Au – 0,44 г/т Ag – 118,5 г/т Cd – 0,045 %	Pb – 42 тыс. т Zn – 64 тыс. т Au – 335 кг Ag – 90 т Cd – 335 т
Екатериноблагодатское	Тот же	Галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит, станнин, блеклые руды	Pb – 8,1 % Zn – 8,2 % Au – 0,39 г/т Ag – 189 г/т Cd – 0,062 %	Pb – 9 тыс. т Zn – 9 тыс. т Au – 36 кг Ag – 7 т Cd – 23 т
Михайловское	Тот же	Пирит, марказит, галенит, сфалерит, арсенопирит, буланжерит, халькопирит, пирротин, джемсонит	Pb – 2,73 % Zn – 4,47 % Au – 0,14 г/т Ag – 93,7 г/т Cd – 0,024 %	Pb – 11,5 тыс. т Zn – 19 тыс. т Au – 59 кг Ag – 29,4 т Cd – 10 т
Центральное	Тот же	Пирит, галенит, сфалерит, буланжерит, арсенопирит, касситерит, станнин, халькопирит, геокронит	Pb – 6,36 % Zn – 2,25 % Au – 2,45 г/т Ag – 62,1 г/т Cd – 0,021 % Ga – 0,0008 % In – 0,0035 %	Pb – 18 тыс. т Zn – 6,3 тыс. т Au – 0,7 т Ag – 17,4 т Cd – 58 т Ga – 2,3 т In – 9,7 т
Кадаинское	Тот же	Сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, арсенопирит, касситерит, аргентит, прустит, серебро, геокронит	Pb – 1,78 % Zn – 3,8 % Cd – 0,013 % Au – 0,3 г/т Ag – 63 г/т	Pb – 13 тыс. т Zn – 27 тыс. т Cd – 67,4 т Au – 0,16 т Ag – 33 т

Месторождения	Формационный тип	Рудные минералы	Полезные компоненты	Промышленные запасы
Савинское № 5	Тот же	Пирротин, сфалерит, галенит, арсенинит, халькопирит, буланжерит, блеклые руды	Pb – 1,63 % Zn – 3,57 % Bi – 0,013 % Au – 0,8 г/т Ag – 17,3 г/т Cd – 0,02 %	Pb – 48 тыс. т Zn – 138 тыс. т Bi – 221 т Cd – 361 т Ag – 32 т Au – 150 кг
Покровское	Тот же	Сфалерит, галенит, арсенинит, пирит, пирротин, марказит, гематит, халькопирит, энаргит, магнетит, бурнонит	Pb – 3,3 % Zn – 3,99 % Cd – 0,024 % Au – 0,63 г/т Ag – 103,5 г/т	Pb – 29 тыс. т Zn – 35 тыс. т Cd – 212 т Au – 0,6 т Ag – 62 т
Шерловогорское	Олово-полиметаллический	Касситерит, пирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенинит	Sn – 0,17 % Pb – 1,28 % Zn – 0,28 % Be – 0,014 % In – 0,00015 % Ag – 89,3 г/т	Sn – 104,5 тыс. т Zn – 342,5 тыс. т Pb – 397,4 тыс. т Be – 5,2 тыс. т In – 49,2 т Ag – 898,4 т
Шахтаминское	Кварц-молибденовый	Молибденит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, антимонит, алтаит, золото	Mo – 0,55 % Zn – 0,52 % Pb – 0,4 % Cu – 0,53 % Au – 9 г/т Ag – 118 г/т	Mo – 2413 т

Большинство из перечисленных месторождений относится к сульфидно-полиметаллическому формационно-генетическому типу, характеризующихся довольно сложным минеральным составом и наличием большого набора полезных компонентов (см. табл. 3). Общие запасы в законсервированных месторождениях составляют, тыс. т: – цинк – 670; свинец – 585; олово – 343; окись бериллия – 5,2; ( т) – молибден – 2413; серебро – 1563; кадмий – 1154; висмут – 786; золото – 214; индий – 59; медь – 15; галлий – 2,3.

За многие годы эксплуатации различных месторождений Восточного Забайкалья скопилось огромное количество горно-технологических отходов (ГТО), представленных разнообразными видами: вскрышные горные породы, бедные и забалансовые руды, хвосты обогащения, металлургические шлаки, продукты химической переработки.

Общая масса ГТО на территории Восточного Забайкалья составляет около 2,9 млрд т, занимающих площадь свыше 4000 га [8]. Наиболее весомая роль в этих ГТО принадлежит вскрышным породам (91,05

%), затем – хвостам обогащения (4,66 %), продуктам химпереработки и бедным (забалансовым) рудам (1,7 %).

Характеристика ГТО, сложившихся после отработки месторождений цветных и благородных металлов в Восточном Забайкалье, представлена в табл. 4. В них в общей совокупности подсчитаны довольно значительные запасы многих видов полезных компонентов [по 8], тыс. т: медь – 7,4; свинец – 133,5; цинк – 192,3; молибден – 24; олово – 74,3; золото – 149 т; серебро – 925 т; висмут – 690 т; окись бериллия – 13,5 тыс. т.

По всем перечисленным группам месторождений цветных и благородных металлов Восточного Забайкалья, а именно: крупные и уникальные, средние и мелкие, законсервированные, горно-технологические отходы, промышленные запасы наиболее важных 15 видов полезных компонентов представлены в табл. 5, из анализа которой вытекает, что на территории Восточного Забайкалья сосредоточены весьма значительные их объемы с вполне кондиционными содержаниями и для извлечения которых необходимо разрабатывать новые геотехнологии.

Таблица 4

**Характеристика горно-технологических отходов Восточного Забайкалья  
[по 1, 2, 7, 8, 10]**

Отрабатывавшиеся месторождения	Вид горно-технологических отходов	Содержание полезных компонентов: %, г/т в ГТО
Ключевское, Давендинское (Au,Mo)	Хвосты флотации, кеки цианирования	Au – 0,35, Ag – 0,5-3,0, Mo – 0,04
Дарасунское (Au)	Хвосты ЗИФ, огарки подового обжига, кеки цианирования	Au – 0,36; Ag – 1,18...30,0; S – 4,1...24,4; As – 0,07...3,9; Cu – 0,013; Zn – 0,01
Балейско-Тасеевское (Au)	Вскрышные породы, хвосты обогащения	Au – 0,33...1,2; Ag – 0,37
Шахтаминское (Mo)	Хвосты обогащения	Mo – 0,028; Pb – 0,053; Cu – 0,033; S – 1,92; Bi – 0,0045; Au – 0,2; Ag – 5,2
Благодатское полиметаллическое	Хвосты обогащения	Pb – 0,595; Zn – 1,188; Cd – 0,008; Ag – 18,63; Au – 0,235
Нерчинско-Заводская группа полиметаллических месторождений, работавших до 1917 г.	Мелкие рудно-породные отвалы	Au – 1,5...10; Pb, Zn, Ag – невысокие содержания
Екатерининские серебро-плавильные заводы (ХУП-Х1Х вв.)	Сереброплавильные шлаки	Pb – 3,28...5,05; Zn – 3,54...5,43; Sn – 0,1; Cu – 0,1; Sb – 0,13; Ga – 0,0002; Ag – 30...80; In – 0,002; Au – 0,1...0,15
Бугдаинское (Mo)	Окисленные руды, пустые породы	Mo – 0,096
Акатуевское полиметаллическое	Хвосты обогащения	Pb – 0,28; Zn – 0,63; Cd – 0,0054; Ag – 9,2; Au – 0,33
Кадаинское полиметаллическое	Хвосты обогащения	Pb – 0,35; Zn – 1,1; Cd – 0,004; Ag – 15; Au – 0,19; Bi – 0,00042; As – 0,5; S – 5,45
Шерловогорское (Sn-полиметаллы)	Хвосты обогащения, вскрышные породы, забалансовые руды	Sn – 0,035...0,12; Cu – 0,06; Pb – 0,03...0,83; As – 0,06; Zn – 0,15...0,52; Bi – 30; Ag – 8,7...15,8; Sc – 20; In – 30; BeO – 10
Савинское № 5 полиметаллическое	Хвосты обогащения	Zn – 0,49; Pb – 0,12; Bi – 0,001; Cd – 0,0033; Ag – 7,5; Au – 0,054
Любавинское золотое	Хвосты обогащения, вскрышные породы, забалансовые руды	Au – 1,1...4,39

Таблица 5

**Распределение запасов основных компонентов в месторождениях цветных и благородных металлов Восточного Забайкалья [по 3, 4, 7, 8,9, 10, 11, 12]**

Элементы	Группы месторождений				
	крупные и уникальные	средние и мелкие	законсервированные	горно-технологические отходы	всего запасов
Медь, млн т	28	1,3	0,015	0,74	30,4
Свинец, тыс. т	1772	–	585	133,5	720,27
Цинк, тыс. т	1917	–	670	192,3	2779,3
Молибден, тыс. т	–	–	2,413	24	26,413
Кобальт, тыс. т	79	1,43	–	–	80,43
Никель, тыс. т	492	–	–	–	492
Олово, тыс. т	–	–	343	74,3	417,3
Золото, т	167	150	214	149	531
Серебро, тыс. т	23	138	1,563	0,925	163,5
Висмут, тыс. т	–	6	0,786	0,690	7,476
Кадмий, т	807	–	1154	480	1961
МПГ, т	404	–	–	–	404
Индий, т	–	–	59	–	59
Галлий, т	–	–	2,3	–	2,3
ВеО, тыс. т	–	–	5,2	13,5	18,7

## 2. Новые геотехнологии освоения минерального сырья

Для извлечения полезных компонентов из руд охарактеризованных объектов природного и техногенного минерального сырья использовались следующие основные методы обогащения – гравитация, флотация, цианирование, амальгамация, электрохимическое цианирование, электрохимическое выщелачивание, гидрометаллургия, угольно-сорбционная технология, кучное выщелачивание. Для повышения извлечения золота и других металлов применялись различные усовершенствования в аппаратуре, реагентах с направленным воздействием как на сам процесс, так и на реагенты. Однако извлечение металлов оставалось незначительным.

Для определения содержаний металлов (золота, серебра, платиноидов и др.) использовались пробирный и химический анализы, атомно-абсорбционный, ICP-MS и некоторые другие методы. Учитывая, что большинство геолого-технологических руд забайкальских месторождений относится к разряду «упорных» и что в них кроме «видимых металлов» присутствуют их дисперсные или невидимые, или наноразмерные формы, на долю которых (по золоту, по крайней мере), по данным В.Г Моисеенко и др. [5], приходится 30...60 % от всей их массы в рудах, то необходимы новые подходы и способы как по определению содержаний металлов, так и по методам их извлечения из руд.

Проведенные исследования в ЧФ ИГД СО РАН [6, 7] позволили разработать комплексную методику выявления и оценки дисперсных форм благородных металлов в рудах и техногенном минеральном сырье, которая включает:

– активационную обработку проб раствором, содержащим перекись водорода, каустиковую (каустическую) соду, раствор уксусной кислоты при ультрафиолетовом облучении дуговой разрядной ртутной лампой ДРТ 240 высокого давления мощностью 240 Вт;

– шихтовку пробы с присадками, в состав которых кроме буры, соды и глета

входит ионообменная смола (анионит) с сорбированным серебром и свежесажденное на катод нитратного раствора в виде порошка металлическое серебро или (что менее эффективно) хлорид серебра;

– плавку полученной «пуговицы» в индукционной печи с предварительным заворачиванием ее в свинцовую фольгу с известной массой для получения вторичного веркблея;

– стандартный пробирный анализ по полной схеме или растворение и осаждение с последующим прокаливанием и взвешиванием осадка.

По данной методике повышение выхода дисперсных форм золота (и других благородных металлов) и, соответственно, достоверности пробирного анализа, достигается путем повышения степени коллектирования золота свинцом за счет предварительной активации пробы руды, использования определенного состава тигельной шихты и проведения перед купеляцией дополнительной обработки свинцовой пуговицы. Для высвобождения в процессе плавки дисперсного золота, имеющего химические связи с атомами минеральной матрицы, в том числе углерода и примесных элементов, проводится эффективное окисление минеральной матрицы с использованием активных окисляющих компонентов и метастабильных гидратированных ионных комплексов. Этот метод апробирован на рудах и хвостах Дарасунского, Удоканского, Балейского, Илинского и ряда других забайкальских месторождений и доказал свою эффективность [6, 7].

Для выявления и извлечения золота, серебра, платиноидов и других металлов во многих странах мира, в том числе и в России, применяют различные методы направленного воздействия на минеральное сырье, например, такие как:

– мощное электромагнитное излучение в СВЧ-диапазоне;

– взрывное или плазмохимическое воздействие;

– смесь азотной, соляной и плавиковой кислот;

- озон и сопутствующие ему активные соединения кислорода и водорода;
- мощные электромагнитные импульсы;
- высокоэнергетичные электроны;
- стадийный пробирный анализ с использованием специального состава шихт по методике Барышникова;
- пирощелочной анализ;
- использование комплекса сильных кислот и активного кислорода, включая озон (методы Г. Клибля, В. Антверпа, Ф. Линкольна).

Уже длительное время развиваются новые методы переработки сложных по составу и строению комплексных руд (природных и техногенных) с дисперсными (наноразмерными) формами золота, платиноидов и других металлов. Эти методы базируются на процессах перевода металлов в жидкую фазу и на сорбенты – это так называемые направленные наноструктурные изменения минеральной матрицы, содержащей указанные металлы. Как правило, минеральные матрицы представлены:

- а) пористыми и легкорастворимыми гипергенными минералами зон окисления;
- б) сложно растворимыми сульфидами, сульфоарсенидами, сульфосолями и др.

Поэтому для извлечения благородных металлов из этих форм нужны специальные технологии, которые обеспечивают:

- перевод дисперсных включений металлов в форму моноэлементных наноразмерных включений;
- формирование в кристаллах и минералах-матрицах развитой системы микротрещин и пор, по которым поступают окисляющие растворы;
- ослабление химических связей между атомами золота (платиноидов и других металлов) и минералообразующими атомами;
- продолжительное растворение различных форм благородных металлов в рудах;
- быстрое переосаждение растворимых форм благородных металлов на минералы-сорбенты и углистое вещество.

Фундаментальные исследования по разработке специальных технологий по извлечению дисперсных (наноразмерных) форм золота и других благородных метал-

лов проводятся в ИПКОНе, ВНИИХТе, МГРИ-РГГРУ, ИГД СО РАН, в США и др. В ЧФ ИГД СО РАН совместно с ЗабГУ созданы научные основы для разработки геотехнологий нового уровня, применимые для освоения природного и техногенного сырья охарактеризованных забайкальских объектов. Суть этих геотехнологий вкратце сводится к следующему.

Для геолого-технологического тестирования руд с дисперсными формами благородных металлов создана и апробирована система двухступенчатой электрообработки в хлоридно-пероксидной среде (первая ступень – электролиз с образованием активных форм кислорода и хлора, вторая – мягкий электроразряд, обеспечивающий протекание комплекса реакций в плазменнообразной среде) и фотоэлектрохимический реактор, позволяющий осуществлять синтез высокоактивных соединений кислорода, водорода и хлора и фотокаталитическое воздействие на процессы, протекающие на границе раздела фаз.

Для промышленной реализации фотоэлектрохимических и фотокаталитических процессов разработана технология стадийного сорбционного выщелачивания золота (и других благородных металлов) с активацией пульпы и сорбентов, которая может быть реализована в чановом, кучном, кюветном, кюветно-кучном и подземном (шахтном и скважинном) вариантах.

Основные процессы этой технологии в чановом варианте успешно испытаны на Учкудукском ГМЗ-3 на окисленных и смешанных рудах месторождений Кокпатас и Даугызтау (общий прирост извлечения золота на смолу составил более 17 %).

Перед вводом цианида натрия производится насыщение пульпы активным кислородом. Режим обработки имеет определяющее значение, поскольку озон и сопутствующие ему соединения могут окислять цианиды до цианатов. После ввода цианидов производят электроактивационную обработку пульпы, а затем ввод подготовленного специальным раствором сорбента, который активно поглощает быстрорастворимые формы золота, не позво-

ляя ему переосаждаться на минералы глины и углистые включения. Основной сорбент перемещается как и в классической схеме СР (RIR) – противотоком. Наиболее эффективно процесс ионообменной сорбции протекает в электрических полях, создаваемых в аэролифте специальной конструкции или погружных проточных электросорбционных блоках.

Использование контрольной электросорбции позволило обеспечить возможность уменьшения содержания золота в твердой фазе пульпы, а следовательно, еще больше повысить извлечение дисперсного золота.

При разработке малых месторождений, вторичной переработке хвостов обогащения, шлиховой фракции гале-эфельных отвалов предложена технология кюветного выщелачивания с локальной активацией пульпы, которая в упрощенном варианте апробирована в реальных полевых условиях на месторождении «УЖ» в Неваде. Отличительными особенностями этой технологии является порционная фотоэлектрохимическая активация пульпы и использование аэролифтов как электрохимических реакторов и электросорберов. При этом в качестве реагентов помимо активных кластерных соединений кислорода и водорода используется гипохлорит натрия, синтезируемый на месте, и небольшие количества соляной или серной кислоты. Кроме того, к расходным материалам может быть отнесена плотная полимерная пленка, которая

служит для гидроизоляции дна и стенок кюветы.

Для суровых климатических условий Восточного Забайкалья разработаны варианты активационного кюветного выщелачивания дисперсных форм золота (и других благородных металлов), позволяющие вести работы на любом из охарактеризованных объектов круглогодично.

#### Выводы

1. В охарактеризованных месторождениях Восточного Забайкалья, разделенных на три категории: уникальные и крупные (6); средние и мелкие (8); законсервированные (15), а также в горно-технологических отходах (ГТО) сосредоточены весьма значительные запасы многих цветных и благородных металлов: Cu – 30 млн т; тыс. т: Pb – 720,3; Zn – 2779,3; Co – 80,4; Ni – 492; BeO – 18,7; Sn – 417,3; Ag – 163,5; 5; Bi – 7,5; Mo – 26,1; т: Au – 531; Cd – 1961; Jn – 59; металлы платиновой группы (МПГ) – 404; Ga – 2,3.

2. Для извлечения указанных металлов из руд рассмотренных месторождений и ГТО предложены защищенные патентами новые геотехнологии, сущность которых заключается в:

- а) переводе металлов в жидкую фазу и на сорбенты;
- б) применении ионно-обменной сорбции в электрических полях, в) в использовании кюветного выщелачивания с локальной активацией пульпы.

#### Литература

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Читинской области за 2006/07 годы». Чита, 2008. 171 с.
2. Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2011 г. Чита, 2012. 134 с.
3. Инвестиционные проекты Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа. Иркутск, 2002. 144 с.

#### References

1. *Gosudarstvenny doklad «O sostoyanii i ohrane okruzhayushhey sredy v Chitinskoy oblasti za 2006/07 gody»* (State report «On the state and protection of environment in the Chita region for 2006/07»). Chita, 2008. 171 p.
2. *Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Zabai-kalskom krae za 2011 god* (Report on the environmental situation in the Transbaikal region for 2011). Chita, 2012. 134 p.
3. *Investitsionnye proekty Chitinskoy oblasti i Aginskogo Buryatskogo avtonomnogo okruga* (Investment projects of the Chita region and Aginsky Buryat Autonomous Okrug). Irkutsk, 2002. 144 p.

4. Минерально-сырьевые ресурсы Читинской области. Инвестиционные предложения. Чита, 2003. 133 с.
5. Моисеенко В.Г., Кузнецова И.В. Роль наночастиц золота, серебра и свинца в образовании месторождений благородных металлов // Доклады РАН, 2010, т. 430, № 3, С. 377-381.
6. Секисов А.Г., Лавров А.Ю., Шевченко Ю.С., Манзырев Д.В. Геотехнологии извлечения дисперсного и тонкого золота из техногенных минеральных образований Забайкальского края // Вестник ЧитГУ, № 1 (80), 2012. С. 34-42.
7. Секисов А.Г., Трубачев А.И., Салихов В.С. и др. Геолого-технологическая оценка и новые геотехнологии освоения природного и техногенного золотосодержащего сырья Восточного Забайкалья. Чита: ЗабГУ. 2011. 312 с.
8. Харитонов Ю.Ф., Васильев В.Г., Андрейчук Д.А. Эколого-экономическая оценка отходов горно-промышленного комплекса Читинской области / Ресурсы Забайкалья. Спец. вып. Чита, 2002. С. 63-69.
9. Чечеткин В.С., Асосков В.М., Воронова Л.И. и др. Минерально-сырьевые ресурсы Читинской области. Чита: Читагеология, 1997. 126 с.
10. Чечеткин В.С., Харитонов Ю.Ф. Минеральные ресурсы Забайкальского края. Чита, 2009. 24 с.
11. Чечеткин В.С., Трубачев А.И. Минеральные ресурсы Забайкальского края. Чита, 2013. 212 с.
12. Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Забайкалья. ч. 1, кн. 2. Чита: Поиск, 2008. 240 с.; ч. 1, кн. 3. Чита: Поиск, 2008. 256 с.
4. *Mineralno-syrievye resursy Chitinskoy oblasti. Investitsionnye predlozheniya* (Mineral resources of the Chita region. Investment proposals). Chita, 2003. 133 p.
5. Moiseenko V.G., Kuznetsova I.V. *Doklady RAN* (Reports of RAS). 2010, Vol. 430, no 3, P. 377-381.
6. Sekisov A.G., Lavrov A.Yu., Shevchenko Yu.S., Manzyrev D.V. *Vestnik ChitGU* (Bulletin of Chita State University), 2012. no 1 (80). P. 34-42.
7. Sekisov A.G., Trubachev A.I., Salihov V.S. i dr. *Geologo-tehnologicheskaya otsenka i novye geotekhnologii osvoeniya prirodnogo i tehnogenogo zolotosoderzhashhego syriya Vostochnogo Zabaikaliya* (Geotechnical assessment and new geotechnologies of natural and technogenic gold raw materials development of Eastern Transbaikalie. Chita: Transbaikalian State University). 2011. 312 p.
8. Kharitonov Yu.F., Vasiliev V.G., Andreychuk D.A. *Resursy Zabaikaliya. Spetsialny vypusk* (Resources of Transbaikalie. Special edition). Chita, 2002. P. 63-69.
9. Chechetkin V.S., Asoskov V.M., Voronova L.I. i dr. *Mineralno-syrievye resursy Chitinskoy oblasti* (Mineral resources of Chita region). Chita: Chita-geology, 1997. 126 p.
10. Chechetkin V.S., Kharitonov Yu.F. *Mineralnye resursy Zabaikalskogo kraja* (Mineral resources of Transbaikalie). Chita, 2009. 24 p.
11. Chechetkin V.S., Trubachev A.I. *Mineralnye resursy Zabaikalskogo kraja* (Mineral resources of Transbaikalie). Chita, 2013. 212 p.
12. Yurgenson G.A. *Mineralnoe syrie Zabaikaliya* (Mineral raw materials of Transbaikalie). V. 1, book. 2, 2008. 240 p.; part 1, book 2, 2008. 256 p.

### Коротко об авторах

### Briefly about the authors

**Секисов А.Г.**, д-р техн. наук, профессор, Забайкальский государственный университет; зам. директора ИГД СО РАН, г. Чита, РФ  
sekisovag@mail.ru

**A. Sekisov**, doctor of technical sciences, Deputy Director, Institute of Mining, SB RAS, professor, Transbaikalian State University, Chita, Russia

**Научные интересы:** физико-химические геотехнологии

**Scientific interests:** physical-chemical geotechnologies

**Чечеткин В.С.**, канд. геол.-минер. наук, ст. науч. сотрудник, Читинский филиал ИГД СО РАН, г. Чита, РФ

**V. Chechetkin**, candidate of geological-mineralogical sciences, senior researcher, Chita branch of Mining Institute, SB RAS, Chita, Russia

**Научные интересы:** геология полезных ископаемых, экономика минерального сырья

**Scientific interests:** geology of mineral resources, economy of mineral raw materials

*Трубачев А.И.*, д-р геол.-минер. наук, профессор,  
Забайкальский государственный университет, г.  
Чита, РФ

*A. Trubachev*, doctor of geological-mineralogical sci-  
ences, professor, Transbaikal State University, Chita,  
Russia

*Научные интересы:* геология месторождений  
цветных и благородных металлов, технологическая  
минералогия

*Scientific interests:* geology of non-ferrous and pre-  
cious metals deposits, technological mineralogy

---

