

## Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых

УДК 553.43+622.7:502.174

### ПОЛЕЗНЫЕ КОМПОНЕНТЫ В РУДАХ МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ КОДАРО-УДОКАНСКОЙ ЗОНЫ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

© А.И. Трубачев<sup>1</sup>, А.Г. Секисов<sup>2</sup>, В.С. Салихов<sup>3</sup>, Д.В. Манзырев<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Забайкальский государственный университет, 672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30.

<sup>2,4</sup>Читинский филиал Института горного дела СО РАН, 672039, Россия, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30.

Приведена минералого-геохимическая характеристика медных руд основных месторождений типа медистых песчаников Кодаро-Удоканской зоны. Показано, что в их рудах в разных количествах содержатся многообразные полезные компоненты, подчиненные в своем распределении минеральной зональности и термодинамической обстановке в средах рудообразования. Источниками элементов являются области сноса, вулканизм, вмещающие среды, разнообразные растворы и флюиды. В большинстве месторождений эти компоненты имеют практическое значение. Для их извлечения предложены различные геотехнологические схемы. По флотационной схеме почти все компоненты переходят в медные концентраты, направляющиеся в металлургический передел, при котором часть элементов безвозвратно теряется. По новой технологии, разработанной в Читинском филиале Института горного дела СО РАН, методом кучного выщелачивания с применением высокоактивированных растворов основные компоненты извлекаются с достаточно высокими показателями за исключением дорогостоящих операций по дроблению, окускованию и пирометаллургическому переделу.

*Ключевые слова:* медные руды; Кодаро-Удоканская зона; полезные компоненты; минеральная зона; типы руд; геотехнологии.

### COMMERCIAL COMPONENTS IN CUPRIFEROUS SANDSTONE ORES OF THE KODAR-UDOKAN ZONE (EASTERN TRANSBAIKALIA) AND THEIR EXTRACTION TECHNOLOGIES

A.I. Trubachev, A.G. Sekisov, V.S. Salikhov, D.V. Manzyrev

Trans-Baikal State University, 30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia.

Chita branch of the Institute of Mining of SB RAS, 30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia.

A mineralogical and geochemical characteristic is given to the copper ores of the major deposits of Kodar-Udokan zone cupriferous sandstone type. It is shown that their ores contains diverse amounts of various commercial components whose distribution is subordinated to mineral zonation and thermodynamic conditions in ore formation environments. The sources of the elements are the areas of glacial erosion, volcanism, host media, different solutions and fluids. These components are of practical value in most of the deposits. Various geotechnological schemes are proposed for their extraction. In flotation process, almost all the components become copper concentrates that lose a part of their elements under metal conversion. Application of the new technology developed in the Chita branch of the Institute of mining of SB RAS performing heap leaching with the use of highly activated

<sup>1</sup>Трубачев Алексей Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, тел: (3022) 267317, e-mail: geoXXI@mail.ru

Trubachev Aleksei, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, tel.: (3022) 267317, e-mail: geoXXI@mail.ru

<sup>2</sup>Секисов Артур Геннадьевич, доктор технических наук, директор, e-mail: sekisovag@mail.ru

Sekisov Artur, Doctor of technical sciences, Director, e-mail: sekisovag@mail.ru

<sup>3</sup>Салихов Владимир Салихович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, тел: (3022) 267317.

Salikhov Vladimir, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, tel.: (3022) 267317.

<sup>4</sup>Манзырев Дмитрий Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, e-mail: sekisovag@mail.ru

Manzyrev Dmitriy, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, e-mail: sekisovag@mail.ru

solutions allows to obtain fairly high extraction rates of basic components excluding costly operations of crushing, agglomeration and pyrometallurgical processing.

*Keywords: copper ores; Kodar-Udokan area; commercial components; mineral zone; types of ores; geotechnologies.*

### Минералого-геохимическая характеристика месторождений медистых песчаников Кодаро-Удоканской зоны

В различных регионах земного шара установлены многочисленные месторождения и проявления формационного типа – медистые песчаники и сланцы, относящиеся по своей значимости к важнейшим среди девяти геолого-промышленных типов медных месторождений. Долгое время руды этих месторождений относились к монометалльным медным. Однако тщательные исследования позволили отнести их к комплексным как по минеральному, так и элементному составу. В общей сложности в этих рудах установлено свыше 40 элементов с широким диапазоном их

разброса по количеству и содержанию в конкретных объектах, что доказывается на примере изученных месторождений в Кодаро-Удоканской зоне (табл. 1).

Анализ приведенных данных показывает как на сходство, так и на различие геолого-технологических и минеральных типов руд со специфическим набором в каждом из них геохимических элементов, многие из которых имеют важное промышленное значение. Кроме основных элементов (Cu, Fe, S) в рудах почти всех месторождений важны Au, Ag, Pb, Zn, Co, Ni, а такие элементы как Mo, Bi, Re, Ge, Se, Pt, Pd, U, As присущи не всем. Количественные показатели по содержанию элементов в рудах рассмотренных месторождений даны в табл. 2.

Таблица 1

### Минералого-геохимическая характеристика месторождений медистых песчаников Кодаро-Удоканской зоны [8, 11, 12, 15, 20, 22, 23]

Месторождение	Минеральные типы руд	Геолого-технологические типы руд	Полезные компоненты, установленные в рудах	Компоненты, извлекаемые в концентраты методом флотации
Удоканское	1. Борнит-халькозиновые 2. Пирит-халькопиритовые 3. Малахит-азуриновые 4. Брошантит-антлеритовые	1. Окисленные 2. Смешанные 3. Сульфидные 4. Сульфатные	Cu, Fe, Ag, Au, S, Co, Ni, Pt, Pd, Rh, Re, Pb, Zn, Mo, Bi, U, Se, Te, In, Ga, Ge, Sb, As, Cd, Hg, W, Ta, Nb, Ti	Cu, Ag, Au, Fe, S, Ge, In, Cd, Hg, Co, Ni, Pt, Pd, Re
Ункурское	1. Борнит-халькопиритовые 2. Халькопирит-пиритовые 3. Малахит-брошантитовые	1. Окисленные 2. Смешанные 3. Сульфидные	Cu, Ag, Au, Fe, S, Co, Ni, Mo, As, Sb	Cu, Ag, Au, S
Бурпалинское	1. Борнит-халькозиновые 2. Борнит-халькопиритовые 3. Пирит-халькопиритовые 4. Малахит-брошантитовые	1. Окисленные 2. Смешанные 3. Сульфидные	Cu, Ag, Au, Fe, S, Co, Ni, Bi, Pb, Zn, As, Sb, Se, Te	Cu, Au, Ag, S, Pb, Se, As
Сакинское	1. Халькозиновые 2. Борнит-халькозиновые 3. Пирит-халькопиритовые 4. Малахит-брошантитовые	1. Окисленные 2. Сульфидные	Cu, Ag, Au, Pb, Zn, As, Sb, V, Pt, Pd	Cu, Au, Ag
Правоингамакитское	1. Халькопирит-борнитовые 2. Пирит-пирротин-халькопиритовые 3. Малахит-азури-брошантитовые	1. Окисленные 2. Сульфидные	Cu, Au, Ag, Pt, Pd, Co, Ni, Se, Te, Bi, Pb, Zn, Sb, As, S	Cu, Ag, Au, Pt, Pd, Co, Ni, S
Красное	1. Халькопирит-пирротиновые 2. Борнит-халькопиритовые 3. Малахит-брошантитовые	1. Окисленные 2. Сульфидные	Cu, Ag, Pb, Co, Ni, Mo, As, Zn, Sc, S, Bi	Cu, Ag, Co, Ni, S
Сюльбанское	1. Пирит-пирротин-халькопиритовые 2. Борнит-халькозиновые 3. Малахит-брошантитовые	1. Окисленные 2. Сульфидные	Cu, Ag, Au, Bi, As, S, Pb, Zn, Co, Ni	Cu, Ag, Au, S

Таблица 2

**Содержание элементов в рудах и минеральных типах в месторождениях  
Кодаро-Удоканской зоны [1, 2, 4, 6, 8, 9, 11–15, 17, 20–23]**

Месторождения и минеральные типы руд	Cu, %	Au, г/т	Ag, г/т	Pt, г/т	Pd, г/т	Co, г/т	Ni, г/т	Bi, г/т	Re, г/т	
Удоканское										
1. Исходная руда	1,56	0,05	12	0,05	0,28	7	6	2	2	
2. Борнит-халькозиновые руды	1,94	0,054	191	0,005	0,033	4	13	6	9	
3. Пирит-халькопиритовые руды	1,08	0,046	80,5	0,024	0,096	30	31	10	–	
Бурпалинское:										
1. Исходная руда	1,07	0,5	119,8	0,001	0,002	4	3	–	–	
2. Борнит-халькозиновые руды	3,01	20	125,2	–	–	14	3,5	12,5	–	
3. Пирит-халькопиритовые руды	1,63	2	26,7	–	–	210	44,5	2	–	
Красное:										
1. Исходная руда	1,15	0,8	37,2	0,0017	0,018	100	100	100	–	
2. Борнит-халькопиритовые руды	–	84	–	–	–	544	13	36	–	
3. Пирит-пирротин-халькопиритовые руды	–	0,1	5	2,1	0,015	182	72	12,3	–	
Правоингамакитское:										
1. Исходная руда	1,42	0,067	60	0,03	0,2	25	30	13	–	
2. Борнит-халькозиновые руды	–	3,4	36	–	–	30,5	26	1	–	
3. Пирит-халькопиритовые руды	–	11,5	28	–	–	18,2	21	1	–	
Сюльбанское										
1. Исходная руда	1,2	0,35	13,7	–	–	–	–	14,7	–	
2. Борнит-халькозиновые руды	–	29,3	32,5	–	–	1	3,5	1962	–	
3. Пирит-халькопиритовые руды	–	80	26	–	–	764	57,7	111,9	–	
Сакинское	1,1	0,014	675	0,03	0,58	–	–	–	–	
Ункурское	0,8	0,3	22,6	–	–	600	50	–	–	
Месторождения и минеральные типы руд	Mo	In	Ga	Pb	Zn	Cd	Ge	Se	As	Sb
Удоканское										
1. Исходная руда	15	–	80	60	120	–	–	–	–	–
2. Борнит-халькозиновые руды	32	2	8	80	80	6	3	5,3	40	–
3. Пирит-халькопиритовые руды	120	5	12	40	50	4	–	14,3	50	–
Бурпалинское:										
1. Исходная руда	10	–	10	30	10	40	–	–	–	–
2. Борнит-халькозиновые руды	25	–	–	350	–	–	–	115	112	–
3. Пирит-халькопиритовые руды	12,3	–	–	350	–	–	–	115	112	–
Красное:										
1. Исходная руда	11	–	300	100	1000	–	–	–	2%	300
2. Борнит-халькопиритовые руды	29	–	–	29	–	–	–	1,5	520	–
3. Пирит-пирротин-халькопиритовые руды	10	–	–	45	1000	–	–	11,6	766	–
Правоингамакитское:										
1. Исходная руда	157	–	25	210	310	–	–	–	–	–
2. Борнит-халькозиновые руды	312	–	–	262	152	–	–	–	–	–
3. Пирит-халькопиритовые руды	15	–	–	92	24	–	–	–	–	–
Сюльбанское										
1. Исходная руда	207,4	–	–	19,4	1500	–	1,4	–	1	159
2. Борнит-халькозиновые руды	3,75	–	–	687,5	1	–	–	–	–	–
3. Пирит-халькопиритовые руды	14	–	–	514	383	–	–	–	5423	–
Сакинское	–	20	–	30	20	–	–	–	1,5	1,7
Ункурское	10	–	–	–	–	–	–	–	3	2

Примечание: прочерк – нет данных.

Извлечение всех элементов из руд важно по крайней мере с двух позиций:

– значительного увеличения стоимости полученных конечных продуктов из медных руд месторождений и повышения их экономической значимости;

– значительного улучшения экологической обстановки вследствие непопадания с отходами токсичных элементов в воздух, почвы, водоемы и растения.

Важнейшей особенностью в распределении элементов в рудах рассматриваемых месторождений является приуроченность их к определенным минеральным зонам. Было установлено, что повышенные концентрации элементов распределены следующим образом: в халькозиновых зонах – Ag, Au, Hg; в борнитовых – Bi, As, Sb, Re, Pb, Mo, Ag; в халькопиритовых – Zn, Cd, In, Ge, Co; в пиритовых – Se, Te, Ni, Co, Re, Pb [2, 8, 14, 15, 17, 20, 22, 23]. В последнее время было выявлено, что по характеру распределения все элементы можно объединить в несколько групп:

1) ограниченные или монозональные элементы, тяготеющие к одной или к двум минеральным зонам: Sb, In, Ge, Ga, Bi, Sn, платиноиды;

2) сквозные или полизональные элементы, прослеженные по нескольким минеральным зонам: Cu, Fe, S, Se, Te, Co, Ni, Cd, Mo, Pb, Ag, Hg;

3) группа элементов, занимающих переходное (промежуточное) положение между этими крайними членами: Re, Zn, Au [20].

Основными факторами, определяющими минеральный и элементный состав руд медистых песчаников, являются:

– поступление элементов из различных источников, коими могут быть окружающие области сноса, вулканизм, морские воды, вмещающие толщи, магматические, гидротермальные, метаморфогенные растворы, флюиды [2, 4, 6–8, 10–12, 15, 17, 20, 22–24];

– условия и термодинамика формирования элементов в местах рудокализации, начиная от стадий седименто-

диагенеза до метаморфизма и гипергенеза [4, 7, 8, 11, 12, 15, 20–23].

На примере месторождений Кодаро-Удоканской зоны в свое время было показано [8, 11, 12, 20, 23, 24], что источником металлов главных парагенезисов (Cu, Fe, Au, Ag) служили окружающие области сноса (Алданский щит и Чарская глыба), иногда вулканизм; редких и второстепенных элементов (Pb, Zn, Co, Ni, Pt, Pd, As, Sb, Sn, W, Hg, Se, Te, Ga, Ge, Re, Cd, Bi, In, U и др.) – области сноса, а также седиментационно-диагенетические, метаморфогенные и постмагматические растворы, причем собственные минеральные формы элементов-примесей реализуются главным образом при процессах катагенеза и метаморфизма [20].

#### **Технологические схемы извлечения элементов из медных руд месторождений Кодаро-Удоканской зоны**

На выбор технологических схем обогащения основное влияние оказывают следующие факторы: вещественный состав руд и в первую очередь их минеральный состав; текстурно-структурные особенности руд (морфология, гранулометрия зерен минералов, взаимоотношения рудо- и породообразующих минералов, характер вкрапленности, типы слоистости, наличие порошковато-землистых, натечных, колломорфных образований); присутствие и состав гипергенных минералов и их взаимоотношения с первичными сульфидными; количество и характер распределения геолого-технологических типов руд в пределах месторождения и отдельных его участков [3, 14, 19, 22].

По минеральному составу среди руд рассматриваемых месторождений развиты следующие типы:

– халькозин-борнитовые (с примесью анилита, дигенита, джарлеита, иногда ковеллина и джирита);

– борнит-халькозиновые;

– пирит-халькопирит-борнитовые;

– халькопирит-пиритовые;

– пирит-пирротин-халькопиритовые;

- борнит-халькопирит-уранинитовые;
- карбонатные (малахит-азуритовые);
- сульфатные (брошантит-антлерит-халькантитовые);
- куприт-тенорит-лимонитовые и др.

Из геолого-технологических типов руд наибольшее развитие получили сульфидные, смешанные и окисленные с различными количественными их соотношениями на конкретных месторождениях. Как правило, окисленные руды развиты в основном в близповерхностных местах месторождений, ниже их располагаются смешанные и, наконец, сульфидные (гипсометрический контроль), нередко они широко представлены в тектонически ослабленных зонах (структурно-тектонический фактор контроля в размещении сортов руд).

Исходя из вышеприведенных особенностей данных месторождений специалистами различных научно-исследовательских и производственных организаций предложены следующие технологические схемы обогащения: флотация, флотационно-сорбционные методы, гидрометаллургия и пирометаллургия, гидротермальная сульфидизация окисленных руд в автоклавах, кучное выщелачивание

в условиях криолитозоны, интенсивная флотация с применением электрохимического кондиционирования пульпы в условиях структурирования дисперсионной среды, флотация с проведением предварительного низкотемпературного сульфидизирующего обжига окисленных руд, комбинированная технология извлечения меди из растворов серноокислотного выщелачивания руды и пироксен-солевого выщелачивания концентрата методом SX/EW-жидкостной экстракции с применением органических экстрагентов и последующей электроэкстракцией, электро- и фотоэлектрическая флотация [3, 5, 14, 16, 19, 22].

Применение перечисленных способов обогащения позволяет получать медные концентраты с различными показателями: выход концентрата, содержание меди и других элементов в них, степень их извлечения с довольно заметными колебаниями для сульфидных, смешанных и окисленных геолого-технологических типов руд (табл. 3, 4).

Если для извлечения основных компонентов (Cu, S, Fe, Ag, Au, Pb, Zn) названные методы обогащения в какой-то мере более или менее отвечают современным геолого-экономическим требованиям, то для извлечения большинства

Таблица 3

**Результаты технологических испытаний различных типов руд Удоканского месторождения по флотационной схеме [3, 14, 22]**

Тип руды	Содержание в руде				Содержание в концентрате				Извлечение		Содержание в хвостах	
	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	S, %	Cu, %	Ag, г/т	Au, г/т	S, %	Cu, %	Ag, %	Cu, %	Ag, г/т
Сульфидные	1,94	10,95	0,046	0,38	32,24	161,3	0,27	10,1	93,08	85,4	0,13	1,64
Смешанные	1,08	7,64	0,05	0,03	28,5	172,4	0,32	8,01	82,7	82,2	0,14	1,95
Окисленные	0,95	4,7	0,054	–	24,8	96,2	0,3	4,2	77,9	78,1	0,22	0,62
Среднее	1,32	7,76	0,05	0,21	30,0	143,2	0,29	7,47	87,2	80,2	0,165	1,4

Таблица 4

**Содержания компонентов в концентратах  
из различных типов руд Удоканского месторождения [3]**

Компонент	Концентраты из борнит-халькозидных руд	Концентраты из пирит-халькопиритовых руд	Концентраты из смешанных руд	Концентраты из окисленных руд
Cu, %	34,7	17,56	24,54	44,3
Fe, %	5,58	24,4	6,19	7,81
Zn, %	0,08	0,05	0,09	0,08
Pb, %	0,08	0,04	0,05	0,04
S, %	11,22	24,9	5,21	3,91
Co, %	0,004	0,03	0,01	0,01
Ni, %	0,043	0,03	0,066	–
Bi, %	0,006	0,015	0,002	–
Re, %	0,0001	–	0,0002	–
Mo, %	0,032	0,12	0,14	–
Se, %	0,009	0,001	0,0045	–
Te, %	0,001	–	0,0007	–
Sb, %	0,002	0,001	0,008	–
As, %	0,13	0,016	0,006	0,001
CO <sub>2</sub> , %	1,63	0,2	2,35	–
Au, г/т	0,38	0,34	0,5	0,5
Ag, г/т	190,98	80,54	163,11	189,8
Ta, %	0,0002	–	0,0001	–
Ga, %	0,0008	0,0012	0,0014	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	5,73	3,63	3,69	5,33
SiO <sub>2</sub> , %	29,03	19,7	35,93	19,6
BaO, %	0,08	0,1	0,1	–
MgO, %	0,12	0,44	0,68	0,44
WO <sub>3</sub> , %	0,007	0,01	0,0001	–
CaO, %	1,88	3,04	2,22	0,66
TiO <sub>2</sub> , %	0,41	0,46	0,53	0,25
Na <sub>2</sub> O, %	1,29	1,01	1,94	–
K <sub>2</sub> O, %	1,44	0,8	2,24	–
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	5,66	0,3	9,68	0,5
Hg, г/т	3 – 30	0,1 – 3,0	–	–
Ge, г/т	–	30,0	–	–
In, г/т	6,6	0,2 – 0,4	0,01	–

Примечание: прочерк – нет данных.

редких и рассеянных элементов требуются иные технологии. Кроме «видимых» и улавливаемых современными технологиями в рудах данных месторождений присутствуют невидимые (дисперсные, наноразмерные, органогенные и другие) формы. Проблема заключается в разработке методов выявления невидимых форм этих элементов, а затем и геотехнологий извлечения их из различных геолого-технологических типов руд рассматриваемых месторождений.

Таким образом, по результатам технологических испытаний в медных концентратах из руд Удоканского и других подобных ему месторождений Кударо-Удоканской зоны накапливаются Cu, Fe, S, Pb, Zn, Co, Ni, Bi, Re, Mo, Se, Te, Sb, As, Au, Ag, Hg, Ga, W, Ge, In, Re. Дальнейшая судьба медных концентратов зависит от способа их переработки, главным из которых является пирометаллургический – плавка в печах медеплавильного завода. При этом способе

значительная часть элементов (Re, Se, Ge, S и др.) уходит в атмосферу вместе с пылью, газами, а другая часть – в анодные шламы и шлаки (Au, Ag, Te, Se, платиноиды), для извлечения которых требуются вспомогательные процедуры – цианирование, рафинирование и др. [14].

Другие подходы к переработке удоканских руд разрабатываются (на лабораторных и полупромышленных пробах) в Читинском филиале Института горного дела СО РАН [5, 16, 18, 19]. Сущность их заключается в переходе к гидрометаллургической схеме переработки медных руд с прямым выщелачиванием металлов методом кучного выщелачивания.

Для выщелачивания металлов из сульфидных руд необходимо окислять сульфидные минералы активным кислородом, под которым понимается атомарный кислород, озон, комплекс реакционно-активных соединений кислорода и водорода (перекись, гидроксил-радикал, диоксид водорода, полимерные соединения OH), ион-радикальные комплексы, а также сульфаты окиси железа или хлоридные комплексы. Для синтеза этих соединений в промышленных масштабах в Читинском филиале Института горного дела СО РАН разработан безопасный фотоэлектрохимический способ.

Выщелачивание меди и других металлов из окисленных руд месторождений Кодаро-Удоканской зоны ведется сернокислотными растворами либо раствором серной кислоты с добавлением кислорода воздуха.

Смешанные (сульфидно-окисленные) руды Удоканского и подобных ему месторождений эффективно перерабатываются методом кучного выщелачивания со стадийным использованием активированных растворов с различной реагентной основой. На первой стадии медь и другие металлы выщелачиваются высокоактивными сернокислотными растворами, содержащими гидроксил-радикал OH<sup>•</sup>, гидратированный ион-радикал кислорода H<sub>2</sub>O<sup>•</sup>O<sup>•</sup>. На второй стадии из частично окисленных на первой стадии

сульфидных минералов металлы извлекаются хлорноватистой кислотой HClO<sup>\*</sup> и группой активных соединений хлора с кислородом. Активные растворы, содержащие ион-радикальные соединения, получают в фотоэлектролитическом реакторе конструкции Читинского филиала Института горного дела СО РАН.

По этой методике в экспериментах на крупнообъемных пробах при средней крупности дробления 40–100 мм извлечение меди за 30–35 суток составляет 90%, а других попутных компонентов (Au, Ag, платиноиды) – не менее 60% [16].

Переработка медных руд методом кучного выщелачивания имеет значительные преимущества перед другими технологиями, в частности по этой технологии не нужны операции мелкого дробления и измельчения, окомкования руды, а в качестве реагента возможно использование водного раствора серной кислоты совсем малой концентрации – 1–2% [16].

На основании вышесказанного можно сделать следующие **выводы**:

1. В рудах месторождений медистых песчаников Кодаро-Удоканской зоны установлены многие полезные компоненты, имеющие различные содержания (Cu, Fe, S, Au, Ag, Co, Ni, Mo, Pb, Zn, Sb, As, Pt, Pd, Re, Ge, In и др.), закономерно распределенные в основных минеральных зонах (халькозиновых, борнитовых, халькопиритовых, пиритовых) и представляющие практический интерес.

2. Преобладающими *минеральными* типами руд являются халькозин-борнитовые, борнит-халькопиритовые, пирит-халькопиритовые, пирит-пирротин-халькопиритовые, малахит-азуритовые, брошантит-антлерит-халькантитовые, *геолого-технологическими* – сульфидные, смешанные и окисленные с различными количественными соотношениями и подчиняющиеся в своем распределении структурно-тектоническому и гипсометрическому контролю.

3. Почти все полезные компоненты (главные и попутные) при флотационной

схеме обогащения сосредотачиваются в медных концентратах, из которых при металлургическом переделе (на медьзаводах) часть элементов либо безвозвратно теряется с пылью и газами, либо уходит в шламы и шлаки, значительно загрязняя окружающую среду.

4. При гидрометаллургической схеме переработки медных руд с прямым извлечением металлов методом кучного, чанового, скважинного выщелачивания со стадийным использованием сильно активированных растворов

(серноокислотно-пероксидных, хлоридно-натриевых, хлоридно-пероксидных и др.), подготовленных фотоэлектрхимическим способом в реакторе конструкции Читинского филиала Института горного дела СО РАН, извлечение главных компонентов составляет 90%, а попутных – не менее 60%. По этой схеме исключаются дорогостоящие операции мелкого дробления, измельчения, окомкования руды, а также вредного пирометаллургического передела.

### Библиографический список

1. Абрамов Б.Н., Трубачев А.И. Золотоносность медных руд на Удоканском месторождении // Известия вузов. Геология и разведка. 2002. № 1. С. 101–114.

2. Безродных Ю.П. Распределение и условия накопления золота, серебра и других элементов-примесей в медистых песчаниках и сланцах: автореф. дисс. ... канд. геолог.-минералог. наук. Иркутск, 1969. 23 с.

3. Вещественный состав полезных ископаемых и основные результаты их обогащения (на примере месторождений Забайкалья): учеб. пособие / В.П. Мязин [и др.]. Чита: Изд-во ЧитГТУ, 1998. Ч. 2. 124 с.

4. Габлина И.Ф. Метаморфизм и гипергенез медистых песчаников и сланцев: автореф. дисс. ... д-ра геолог.-минералог. наук. М., 1994. 45 с.

5. Геолого-технологическая оценка и новые геотехнологии освоения природного и техногенного золотосодержащего сырья Восточного Забайкалья / А.Г. Секисов, А.И. Трубачев, В.С. Салихов [и др.]. Чита: Изд-во ЗабГУ, 2011. 312 с.

6. Гонгальский Б.И. Протерозойская металлогения Удокан-Чинейского рудного района: автореф. дисс. ... д-ра геолог.-минералог. наук. М., 2012. 43 с.

7. Карпунин А.М. Стратиформные месторождения цветных металлов. Л.: Недра, 1974. 128 с.

8. Кренделев Ф.П., Бакун Н.Н., Володин Р.Н. Медистые песчаники Удокана. М.: Наука, 1983. 248 с.

9. Кучеренко И.В., Коробейников А.Ф. Металлы платиновой группы Удоканского серебро-медного месторождения // Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых Сибири. Томск: Изд-во ТПУ, 2000. С. 145–157.

10. Лурье А.М. Генезис медистых песчаников и сланцев. М.: Наука, 1988. 183 с.

11. Медистые отложения Олекмо-Витимской горной страны / Ю.В. Богданов, Г.Г. Кочин, Э.И. Кутырев [и др.]. Л.: Недра, 1966. 386 с.

12. Удоканское месторождение медистых песчаников / Р.Н. Володин, В.С. Чечеткин, Л.Ф. Наркелюн [и др.] // Геология рудных месторождений. 1994. № 1. С. 3–30.

13. Макарьев Л.Б., Былинская Л.Е., Павлов М.В. Платиноносность Кодаро-Удоканского меднорудного района // Платина России. М.: Геоинформмарк, 1999. Т. 3. С. 300–306.

14. Наркелюн Л.Ф. Геолого-технологическая оценка минерального сырья. Чита: Изд-во ЧитГТУ, 2009. 366 с.

15. Наркелюн Л.Ф., Салихов В.С., Трубачев А.И. Медистые песчаники и сланцы мира. М.: Недра, 1983. 414 с.

16. Обоснование технологии активационного кучного выщелачивания меди из смешанных руд Удоканского



месторождения / А.Г. Секисов, А.Ю. Лавров, А.И. Трубачев [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. Т. 2. № 1. С. 224–226.

17. Салихов В.С. Условия образования и структурно-вещественные особенности стратиформного медного оруденения. Чита: Изд-во ЧитГТУ, 2008. 377 с.

18. Секисов А.Г., Зыков Н.В., Королев В.С. Дисперсное золото: геологический и технологический аспекты. М.: Горная книга, 2012. 224 с.

19. Секисов А.Г., Чечеткин В.С., Трубачев А.И. Новые геотехнологии освоения минерального сырья цветных и благородных металлов Восточного Забайкалья // Вестник ЗабГУ. 2014. № 7. С. 28–38.

20. Трубачев А.И. Формационно-парагенетический анализ медистых песчаников и сланцев, закономерности их размещения и генезис. Чита: Изд-во ЧитГУ, 2009. 346 с.

21. Трубачев А.И., Салихов В.С., Васильев В.Г. Стратиформные месторождения Забайкалья. Чита: Изд-во ЗабГУ, 2014. 305 с.

22. Удоканское медное и Катугинское редкометалльное месторождения Читинской области России / В.В. Архангельская, Ю.В. Быков, Р.Н. Володин, Л.Ф. Наркелюн, М.Д. Скурский, А.И. Трубачев, В.С. Чечеткин. Чита: Поиск, 2004. 522 с.

23. Удоканское месторождение медистых песчаников (обзор) / В.С. Чечеткин, Р.Н. Володин, Г.А. Юргенсон [и др.] // Геология и геофизика. 2000. № 5. С. 733–745.

24. Юргенсон Г.А., Абрамов Б.Н. Минеральный состав железистых песчаников и источники обломочного материала меденосных отложений удоканской серии // Записки Всероссийского минералогического общества. 2000. № 9. С. 44–53.

## References

1. Abramov B.N., Trubachev A.I. Zolotonosnost' mednykh rud na Udokanskom me-storozhdenii [Gold mineralization of copper ores in the Udokan deposit]. *Izvestiia vuzov. Geologiya i razvedka – University Proceedings. Geology and Exploration*, 2002, no. 1, pp. 101–114.

2. Bezrodnykh Iu.P. *Raspredelenie i usloviia nakopleniia zolota, serebra i drugikh elementov-primesei v medistyykh peschanikakh i slantsakh*. Avtoref. diss. kand. geolog.-mineralog. nauk [Distribution and accumulation conditions of gold, silver and other accompanying elements in cupriferous sandstones and shales: Abstract of the thesis for a Candidate's degree of Geological and Mineralogical sciences]. Irkutsk, 1969, 23 p.

3. Miazin V.P. *Veshchestvennyi sostav poleznykh iskopaemykh i osnovnye rezul'taty ikh obogashcheniia (na primere mestorozhdenii Zabaikal'ia)* [Material composition of minerals and main results of their processing (on example of Trans-

baikalian deposits)]. Chita, ChitGTU Publ., 1998, 124 p.

4. Gablina I.F. *Metamorfizm i gipergenez medistyykh peschanikov i slantsev*. Avtoref. diss. d-ra geolog.-mineralog. nauk [Metamorphism and hypergenesis of cupriferous sandstones and shales: Abstract of the thesis for Doctoral degree of Geological and Mineralogical sciences]. Moscow, 1994, 45 p.

5. Sekisov A.G., Trubachev A.I., Salikhov V.S. *Geologo-tekhnologicheskaiia otsenka i novye geotekhnologii osvoeniia prirodnogo i tekhnogenogo zolotosoderzhashchego syr'ia Vostochnogo Zabaikal'ia* [Geological and technological evaluation and new development geotechnologies of natural and technogenic gold-bearing raw materials in East Transbaikalia]. Chita, ZabGU Publ., 2011, 312 p.

6. Gongal'skii B.I. *Proterozoiskaia metallogeniia Udokan-Chineiskogo rudnogo raiona*. Avtoref. diss. d-ra geolog.-mineralog. nauk [Proterozoic metallogeny

of Udokan-Chiney ore district: Abstract of the thesis for Doctoral degree of Geological and Mineralogical sciences]. Moscow, 2012, 43 p.

7. Karpunin A.M. *Stratiformnye mestorozhdeniia tsvetnykh metallov* [Stratiform deposits of non-ferrous metals]. Leningrad, Nedra Publ., 1974, 128 p.

8. Krendelev F.P., Bakun N.N., Volodin R.N. *Medistye peschaniki Udokana* [Udokan cupriferous sandstones]. Moscow, Nauka Publ., 1983, 248 p.

9. Kucherenko I.V., Korobeinikov A.F. *Metally platinovoi gruppy Udokanskogo srebro-mednogo mestorozhdeniia* [Platinum group metals of Udokan silver-copper deposit]. *Poiski i razvedka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh Sibiri* [Prospecting and exploration of mineral deposits in Siberia]. Tomsk, TPU Publ., 2000, pp. 145–157.

10. Lur'e A.M. *Genezis medistykh peschanikov i slantsev* [Genesis of cupriferous sandstones and shales]. Moscow, Nauka Publ., 1988, 183 p.

11. Bogdanov Iu.V., Kochin G.G., Kutyrev E.I. *Medistye otlozheniia Olekma-Vitimskoi gornoj strany* [Copper deposits of Olekma-Vitim mountain country]. Leningrad, Nedra Publ., 1966, 386 p.

12. Volodin R.N., Chechetkin V.S., Narkeliun L.F. *Udokanskoe mestorozhdenie medistykh peschanikov* [Udokan deposit of cupriferous sandstones]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii – Geology of ore deposits*, 1994, no. 1, pp. 3–30.

13. Makar'ev L.B., Bylinskaia L.E., Pavlov M.V. *Platinonosnost' Kodaro-Udokanskogo mednorudnogo raiona* [Platinum mineralization of Kodar-Udokan copper-ore district]. *Platina Rossii – Russian platinum*. Moscow, Geoinformmark Publ., 1999, vol. 3, pp. 300–306.

14. Narkeliun L.F. *Geologo-tehnologicheskaiia otsenka mineral'nogo syr'ia* [Geological and technological evaluation of mineral resources]. Chita, ChitGTU Publ., 2009, 366 p.

15. Narkeliun L.F., Salikhov V.S., Trubachev A.I. *Medistye peschaniki i slantsy mira* [World cupriferous sandstones

and shales]. Moscow, Nedra Publ., 1983, 414 p.

16. Sekisov A.G., Lavrov A.Iu., Trubachev A.I. *Obosnovanie tekhnologii aktivatsionnogo kuchnogo vyshchelachivaniia medi iz smeshannykh rud Udokanskogo mestorozhdeniia* [Justification of the activation technology of heap leaching of copper from Udokan deposit mixed ores]. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk – Fundamental and Applied Problems of Mining Sciences*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 224–226.

17. Salikhov V.S. *Usloviia obrazovaniia i strukturno-veshchestvennye osobennosti stratiformnogo mednogo orudeniia* [Formation conditions and structural-material features of stratiform copper mineralisation]. Chita, ChitGTU Publ., 2008, 377 p.

18. Sekisov A.G., Zykov N.V., Korolev V.S. *Dispersnoe zoloto: geologicheskii i tekhnologicheskii aspekty* [Dispersed gold: geological and technological aspects]. Moscow, Gornaia kniga Publ., 2012, 224 p.

19. Sekisov A.G., Chechetkin V.S., Trubachev A.I. *Novye geotekhnologii osvoeniia mineral'nogo syr'ia tsvetnykh i blagorodnykh metallov Vostochnogo Zabaikal'ia* [New development geotechnologies of mineral resources of non-ferrous and precious metals of Eastern TransBaikalia]. *Vestnik ZabGU – Bulletin of Trans-Baikal State University*, 2014, no. 7, pp. 28–38.

20. Trubachev A.I. *Formatsionno-parageneticheskii analiz medistykh peschanikov i slantsev, zakonomernosti ikh razmeshcheniia i genesis* [Formational and paragenetic analysis of cupriferous sandstones and shales, their distribution patterns and genesis]. Chita, ChitGU Publ., 2009, 346 p.

21. Trubachev A.I., Salikhov V.S., Vasil'ev V.G. *Stratiformnye mestorozhdeniia Zabaikal'ia* [Stratiform deposits in the Trans-Baikal region]. Chita, ZabGU Publ., 2014, 305 p.

22. Arkhangel'skaia V.V., Bykov Iu.V., Volodin R.N., Narkeliun L.F., Skurskii M.D., Trubachev A.I., Chechetkin

V.S. *Udokanskoe mednoe i Katuginskoe redkometall'noe mestorozhdeniia Chitinskoi oblasti Rossii* [Udokan copper and Katuga rare metal deposits of the Chita region, Russia]. Chita, Poisk Publ., 2004, 522 p.

23. Chechetkin V.S., Volodin R.N., Iurgenson G.A. Udokanskoe mestorozhdenie medistykh peschanikov (obzor) [Udokan deposit of cupriferous sandstones (review)]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2000, no. 5, pp. 733–745.

24. Iurgenson G.A., Abramov B.N. Mineral'nyi sostav zhelezistykh peschanikov i istochniki oblomochnogo materiala medenosnykh otlozhenii udokanskoi serii [The mineral composition of brownstones and sources of fragmental material of Udokan series copper deposits]. *Zapiski Vserossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva – Proceedings of the All-Russian Mineralogical Society*, 2000. no. 9, pp. 44–53.

*Статья поступила 15.02.2016 г.*