

УДК 549.622.775
 DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-45-54

ЛЕЖАЛЫЕ ЗОЛОТОНОСНЫЕ ХВОСТЫ КОМБИНАТА «БАЛЕЙЗОЛОТО»: ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ

STALE GOLD-BEARING TAILINGS OF THE BALEIZOLOTO PLANT AND THE PROBLEM OF THEIR DISPOSAL



Г. А. Юргенсон,
 Институт природных ресурсов,
 экологии и криологии СО РАН, г. Чита
 yurgga@mail.ru



Л. В. Шумилова,
 Забайкальский государственный
 университет, г. Чита
 shumilovalv@mail.ru



А. Н. Хатькова,
 Забайкальский государственный
 университет, г. Чита
 alisa1965.65@mail.ru

G. Yurgenson,
 Institute of Natural Resources, Ecology and
 Cryology SB RAS, Chita

L. Shumilova,
 Transbaikal State University,
 Chita

Khatkova,
 Transbaikal State University,
 Chita

Актуальность исследования заключается в необходимости рекультивации отходов обогащения золото содержащих руд, залегающих в непосредственной близости от селитебных территорий г. Балей, оказывающих негативное воздействие на экологическую обстановку в нём, а также разработки технологического подхода к извлечению золота и серебра. Цель исследования – определение вещественного состава и разработка технологии извлечения благородных металлов. Объект исследования – лежалые хвосты ЗИФ-1 комбината «Балейзолото». Предмет исследования – минеральный состав лежалых хвостов, содержание полезных компонентов и технология их извлечения. Метод и методология – минералогический и химический анализ хвостов обогащения, технологический подход. Результаты: проведён анализ состояния хвостохранилищ золотоизвлекательных фабрик комбината «Балейзолото». Определены содержания золота и других химических элементов, среди которых преобладают мышьяк, цинк, медь, сурьма, свинец. Содержание золота преобладает в лежалых хвостах фабрики ЗИФ-1, перерабатывавшей руды Балейского месторождения, и находится в пределах 1,09...1,37 г/т, в среднем – 1,17 г/т. Это обуславливает перспективность их первоочередной переработки. Золото в глинисто-песчаной фракции лежалых хвостов находится преимущественно в тонких сростках с кварцем, карбонатами, пиритом, арсенопиритом, сульфосолями и теллуридами. Область применения – переработка техногенного сырья. Выводы: определено, что размеры включений золота находятся в пределах 0,03...0,7 мм, пробность золота 63...91,15, в среднем составляет 82,13; основной примесью в золоте является серебро с содержанием 8,85...37 %; среднее содержание серебра в хвостах фабрики ЗИФ-1 составляет 1,85 г/т; разработана рекомендуемая технологическая схема переработки лежалых хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото», включающая фотоэлектроактивационную подготовку, окомкование с активным раствором, кучное выщелачивание, двухстадиальную сорбцию с барботажем озоном

Ключевые слова: лежалые хвосты; Балейско-Тасеевское (Балейское) рудное поле; золото; сульфиды; сульфосоли; теллуриды; фотоэлектроактивационная подготовка; окомкование; кучное выщелачивание; сорбция; озон

The relevance of the research is the need to recultivate the waste from the enrichment of gold-bearing ores that lie in the immediate vicinity of the residential areas of Baley city, which have a negative impact on the environmental situation in it, as well as to develop a technological approach to the extraction of gold and silver. The purpose of the study is to study the material composition and develop a technology for extracting precious metals.

The object of the study is the stale tailings of the ZIF-1 plant “Baleizoloto”. The subject of the study is mineral composition of stale tailings, content of useful components and their extraction technology, the method and methodology presented by mineralogical and chemical analyses of enrichment tailings.

Results. The analysis of the tailings dumps' state of the gold recovery factories of the Baleizoloto plant was carried out. The contents of gold and other chemical elements, among which arsenic, zinc, copper, antimony, and lead predominate, were determined. The gold content prevails in the stale tailings of the ZIF-1 factory, which processed the ores of the Baley deposit, and is in the range of 1.09-1.37 g / t, on average – 1.17 g/t. This determines the prospects for their primary processing. The gold in the clay-sand fraction of the stale tailings is mainly found in thin accretions with quartz, carbonates, pyrite, arsenopyrite, sulfosols, and tellurides. The field of application is processing of technogenic raw materials.

Conclusions. It was determined that the sizes of gold inclusions are in the range of 0.7-0.03 mm, the gold penetration varies from 63 to 91.15, and on average is 82.13; the main impurity in gold is silver with a content of 8.85-37%; the average silver content in the tailings of the ZIF-1 factory is 1.85 g/t; the recommended technological scheme for processing stale tailings of ZIF-1 of the Baleizoloto plant has been developed, including the following operations: photoelectron-activation preparation, pelletizing with active solution, heap leaching, two-stage sorption with bubbling with ozone

Key words: stale tailings; Baleysko-Taseyevskoye (Baleyskoye) ore field; gold; sulfides; sulfosols; tellurides; photoelectroactivation preparation; pelletizing; heap leaching; sorption; ozone

Введение. Для оценки значимости использования отходов горнорудного производства в различных отраслях экономики выполнен анализ зарубежного и российского опыта. В экономически развитых странах мира накоплен значительный опыт ресурсосбережения в целом и использования золотосодержащих техногенных ресурсов, в частности [1; 2; 5; 6; 7; 9; 12-15].

Комбинат «Балейзолото», функционировавший в 1929–1993 гг., отрабатывал три месторождения золота в пределах Балейско-Тасеевского (Балейского) рудного поля, которое в середине XX столетия считалось одним из крупнейших поставщиков золота в Советском Союзе.

Балейско-Тасеевское рудное поле находится в Балейском районе Забайкальского края, в долине р. Унда, правого притока р. Онон и приурочено к Балейскому грабену юрского-мелового возраста [3; 11]. Рудное поле состоит из трёх месторождений, самым северным из которых является собственно Балейское в палеозойских гранодиоритах, непосредственно примыкающее к г. Балей. Второе, так называемое Южное поле, находится в долине р. Унда, в юрского-меловых отложениях Балейского грабена, юго-восточнее Балейского, и третье, самое крупное, Тасеевское, приурочено к осадочной толще юрского-мелового возраста Балейского грабена. Возраст оруденения определяется как меловой (120–114 млн лет) [10; 11].

Актуальность исследования заключается в необходимости переработки золото-

содержащих техногенных отходов с целью оздоровления экологической ситуации градообразующих горных предприятий, находящихся в непосредственной близости от г. Балей (Забайкальский край).

Цель исследования – определение вещественного состава лежальных хвостов и разработка технологии извлечения благородных металлов.

Задачи исследования – сделать анализ вещественного состава руд Балейского и Тасеевского месторождений по содержанию золота и серебра за период эксплуатации горного предприятия «Балейзолото» с 1929–1982 гг.; провести минералогический и химический анализы хвостов обогащения фабрики ЗИФ-1; разработать рекомендуемую технологическую схему переработки лежальных хвостов ЗИФ-1.

Объект исследования – лежальные хвосты ЗИФ-1 комбината «Балейзолото».

Предмет – минеральный состав, содержание полезных компонентов и технология их извлечения.

Материал и методы исследования. Метод и методология исследований – минералогический и химический анализ хвостов обогащения фабрики ЗИФ-1.

Золотоносные существенно кварцевые жилы Балейского месторождения образуют штокверк в гранодиоритах ундинского комплекса, представляющих собою выступ фундамента Балейского грабена. Жильные минералы в них представлены кварцем (до 99 %), слоистыми силикатами (диккитом, ил-

литом, монтмориллонитом, до 5 %), карбонатами (до 5 %) и адуляром (до 10 %). Редко присутствует флюорит. Рудные минералы составляют не более 3 % и представлены пиритом, арсенопиритом, сульфосолями меди и серебра, теллуридами, редко – селенидами. В сульфосолях почти всегда присутствует цинк. Содержание золота и серебра в рудах Балейского месторождения составляло от 10...15 г/т до 318 кг/т. По кварцевой жиле № 316 был участок с содержанием 78 кг/т. Балейское месторождение отработано подземным и открытым способами и за период 1929...1982 гг. дало 140 т золота. При этом наиболее высокие содержания золота характеризуют руды, добывавшиеся подземным способом (51,3 т со средним содержанием 21 г/т при норме 10...15 г/т).

Южноеполе представляет собой штокверк в конгломератах, кварцевые жилы которого имели минеральный состав, близкий таковому Северного поля. В период 1938–1963 гг. он отрабатывался подземным способом и дал 35 т золота при среднем содержании 15,9 г/т; затем карьером, руда которого с содержанием 1,5...2,5 г/т подавалась на фабрику ЗИФ-2 с целью разубоживания богатых руд Тасеевского месторождения, что обеспечивало поставку на неё руды с близким средним содержанием. Это обеспечивало рентабельную работу фабрики, доработку бедных руд Южного поля и селективную отработку богатых жил Тасеевского месторождения.

Руды Тасеевского месторождения по минеральному составу и содержанию золота незначительно отличаются от Балейского. Содержание золота находится в пределах первых граммов на 1 т до 346 кг/т. Тасеевское месторождение открыто в 1941 г., разведка его во время Великой Отечественной войны не проводилась и была завершена только к 1973 г. Но разработка началась в 1956 г. За период 1956–1989 гг. из Тасеевского месторождения добыто 252,02 т золота со средним содержанием 20,0 г/т.

В 1935–1960 гг. вся добываемая комбинатом Балейзолото руда подавалась на золотоизвлекательную фабрику № 1 им. Орджоникидзе, производительность которой составляла 420 тыс. т/г. Работа её прекращена в 1973 г. За это время переработано 12 287,5 тыс. т руды и получено, по расчётным данным компании «Армада Голд», Австралия, 153,885 т золота при среднем со-

держании 12,6 г/т. Среднее содержание золота в хвостах 1,37 г/т, запасы 16,8605 т. По данным Н. А. Дерябиной (ООО «Геотехнология», 2012 г.), содержание золота в изученной лабораторной пробе составило 1,63 г/т. По другим данным – содержание золота составляет 1,08 и 1,09 г/т.

Фабрика ЗИФ-2 производительностью 1 300 000 т/г начала функционировать 1 декабря 1959 г. и перерабатывала руды Южного поля и Тасеевского месторождения, а с середины 1980-х – Среднеголготайского и (с 1989 г.) Опытного карьера Тасеевского месторождения. За весь период работы фабрики (1959–1994) переработано 24 639 тыс. т руды при содержании 4,65 г/т и получено 120,0199 т золота. По данным производственного учёта, в хранилище фабрики ЗИФ-2 содержится 16,0166 т золота при содержании 0,64 г/т.

Разработанность темы. В результате различных оценок с использованием разных подходов и методов анализа на золото определено, что масса хвостов фабрики ЗИФ-1 варьирует от 12 287 500 до 12 535 539 т при содержаниях соответственно 1,09...1,37 г/т, а ЗИФ-2 от 24 639 800 до 31 293 673 т при содержаниях 0,64...0,66 г/т.

Исходя из всех имеющихся данных, ООО «Тасеевское», исключив из объёма хранилища фабрики ЗИФ-1 породы основания хранилища (почвенно-растительный глинистый слой и песчано-галечные речные отложения) на 1 января 2008 г., представляло на утверждение в ТКЗ запасы золота 9,317 т в объёме песчано-глинистого материала (илов) 8234 тыс. т при содержании 1,13 г/т. Поскольку хвосты фабрики ЗИФ-1 содержат в среднем 3,4 г/т серебра, имеет смысл рассматривать и его извлечение.

На основании приведённых данных можно сделать вывод о том, что промышленную ценность представляет хранилище фабрики ЗИФ-1; целесообразно рассмотреть применимость современных технологий извлечения золота и по возможности серебра.

В связи с тем, что важнейшее значение для выбора технологических решений имеет знание минерального и гранулометрического состава песков, а также наличия доли свободного золота в сростках с сульфидами и сульфосолями, кварцем и силикатами, доли глинистых минералов класса -0,074 мм,

проведена их количественная оценка. С этой целью произведён отбор проб песчано-глинистой фракции. В пределах хвостохранилищ-отстойников золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ) ЗИФ-1 и ЗИФ-2 Балейско-Тасеевского месторождения в 2008 и июне 2013 гг. проведён отбор 43 проб. Часть их подверглась отмучиванию с выделением глинистой фракции, гранулометрическому, термо-весовому и дифрактометрическому анализу.

Химический состав проб определён рентген-флюоресцентным методом в ГИН СО РАН, определение золота осуществлено пробирным анализом в ОАО «Восток Лимитед». Руководитель лаборатории Т. Л. Попова. Определение состава золота выполнено электронно-микроскопическим методом в лаборатории ГИН СО РАН, руководитель канд. техн. наук С. В. Канакин.

Результаты и их обсуждение. С наиболее ранними процессами формирования месторождения связаны березиты и пропилиты, с последующими – аргиллизиты, среди которых по преобладающему компоненту выделяются агрегаты, относящиеся к каолинитовой, диккит-каолинитовой, монтмориллонитовой, селадонитовой и гидрослюдистой субфациям. Перечисление соответствует расположению зон по глубине и контактам жил по мере удаления от них. Песчаники и конгломераты в непосредственной близости от жил окварцовены, пиритизированы, аргиллизированы. Характерно, что песчаники окварцовены и аргиллизированы на расстоянии не более 100 м от стволовых жил, конгломераты – 2...3 м, с глубиной ширина зоны уменьшается. В гранодиоритах Северо-Балейского карьера, по В. И. Лозовскому [8], околорудные из-

менения наблюдаются до глубины 40...50 м; глубже гранодиориты на контактах с жилами практически не изменены. Процессы пиритизации, сопровождающие образование пирита, определяют его концентрации в окологильном пространстве, горные породы которого отрабатывались вместе с рудными жилами. Пирит при этом частью флотировался, а частью оставался в виде сростков с алюмосиликатами в отходах фабрики. Все указанные околорудноизменённые горные породы в виде обломков размером не более 1 мм присутствуют в составе песчано-глинистых масс хвостохранилищ. С ними связано существенное количество пирита и арсенопирита, составляющих сульфидную часть в песчано-глинистой фракции лежальных хвостов.

Важнейшее значение для распределения золота и сопровождающих его сульфидов, сульфосолей и теллуридов имеют структурно-текстурные особенности руд. В жильных телах Балейского рудного поля выделяются массивные, пятнистые или брекчийвидные, существенно кварцевые или халцедон-кварцевые, полосчатые, массивные, пластинчатые и гребёччатые агрегаты, содержащие золото в различных количествах [3; 11]. Размеры зёрен, слагающих эти агрегаты, как правило, менее 1 мм. Все они составляют существенную часть обломочного материала.

Минеральный состав руд Балейского и Тасеевского месторождений, составлявших основу материала, подававшегося на обогатительные фабрики, представлен в табл. 1. В ней приведены также данные о рудах Среднеголготайского месторождения, с середины 1980-х подававшихся на фабрику ЗИФ-2.

Таблица 1 / Table 1

Минеральный состав Балейского, Тасеевского и Среднеголготайского месторождений /
Mineral composition of the Baleyskoye, Taseyevsky and Srednegolgotayskoye deposits

Минерал / Mineral	Месторождение, содержание/ Oil field, content, %		
	Балейское / Baleyskoye	Тасеевское / Taseyevskoye	Среднеголготайское / Srednegolgotayskoye
Кварц / Quartz	55...99	50...99	65...95
Арсенопирит / Arsenopyrite	0,05...0,6	0,05...0,7	0,4...3,9
Пирит / Pyrite	0,03...0,7	0,03...1,1	0,1...3,7
Сфалерит / Sphalerite	0,01...0,06	0,01...0,07	0,2...1,6
Халькопирит / Chalcopyrite	0,01...0,07	0,01...0,08	0,1...1,7
Галенит / Galenite	0,005...0,006	0,004...0,007	0,05...1,2
Сульфосоли / Sulfosols	0,07...1,9	0,08...1,95	0,09...3,8
Золото самородное / Native gold	0,0001...31,8	0,0001...34,6	0,0001...0,0806
Аргентит / Arginit	0,0001...0,03	0,0001...0,05	0,0001...0,007

Окончание табл. 1

Теллуриды золота / Tellurides Gold	0,0001...0,09	0,0001...0,19	0,0001...0,07
Молибденит / Molibdenite	0,0001...0,001	0,0001...0,001	0,001...1,9
Висмутин / Bismuthin	нет	нет	0,001...3,9
Тетрадимит / Tetradiemit	нет	нет	0,001...2,9
Стибнит / Stibnit	0,01...2,1	0,01...0,87	0,01...0,17
Шеелит / Scheelit	нет	нет	0,001...3,45
Адуляр / Adulyar	0,1...20	0,1...13	нет
Карбонаты / Carbonates	0,05... 20	0,1...18	0,1...17
Слоистые силикаты / Layered silicates	0,01...20	0,01...21	0,01...2,3
Турмалин / Tourmaline	нет	0,001...0,01	0,15...3,2
Флюорит / Fluorite	0,002...0,01	0,001...0,02	0,11...0,3

По данным минералогического анализа, в лежальных хвостах фабрики ЗИФ-1 содержится 71...85,6 % кварца, 10,8...13,7 % полевых шпатов, 10,2...18,1 % глинистой фракции, 3...17 % карбонатов, 0,08...1,87 % сульфидов и сульфосолей. Определено, что свободное золото составляет 26...30,1 %. В сростках с кварцем, слоистыми силикатами и карбонатами находится 32,3 ...35,6 % золота, в тонких срастаниях с сульфидами и сульфосолями – 35,7...38,9 %.

Электронно-микроскопическим методом определено, что достаточно часто золото находится в сростках с кварцем, сидеритом (рис. 1). Размеры золотин находятся в пределах от первых микрон до 30 микрон. Химический состав золота широко варьирует. Содержания серебра в золотинах, по данным 51 анализа, находится в пределах 8,49...37 %, а золота, соответственно 63...91,51 %. Средняя пробность золота составляет 83,13 при среднеквадратичном отклонении 6,32.

Преобладают золотины с содержанием золота более 20 %. Эти данные несколько отличаются от известных для золота в руде, средняя пробность золотин в которой составляет примерно 70 [3]. Вероятно, это обусловлено тем, что мелкие золотины, находящиеся в обломочном материале хвостов в тонком срастании с породообразующими и рудными минералами, характеризуются меньшими содержаниями серебра по сравнению с более крупными, ассоциирующими с собственными минералами серебра фрейбергитом и теллуридами.

Ассоциирующий с золотом сидерит содержит стронций, как это хорошо видно на спектре (рис. 2). Сросток тонких золотин (5–7) в ассоциации с пиритом, халькопиритом, сидеритом и кварцем представлен на рис. 3.

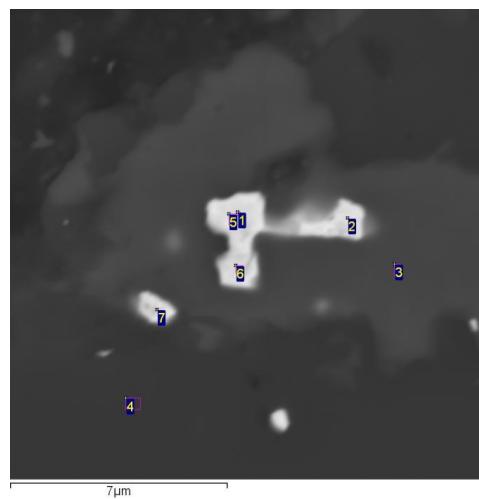


Рис. 1. Тонкое золото (1, 2, 5–7) в ассоциации с кварцем (4) и сидеритом. Электронно-микроскопический снимок / Fig. 1. Fine gold (1, 2, 5–7) in association with quartz (4) and siderite. Electron microscopic image

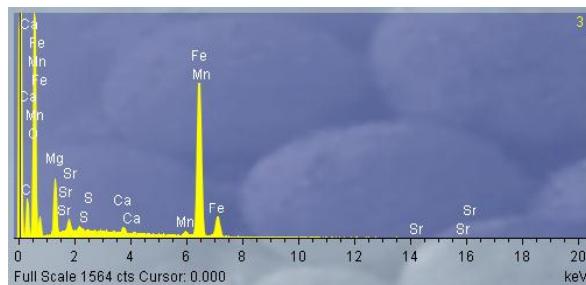


Рис. 2. Рентгеновский спектр сидерита / Fig. 2. X-ray spectrum of siderite

Из данных табл. 2 следует, что лежальные хвосты обогатительных фабрик комбината «Балейзолово» наряду с золотом и серебром содержат высокие концентрации мышьяка, сурьмы и цинка, превышающие их ПДК. Соотношения содержания главных химических элементов в руде и хвостах показаны на рис. 4.

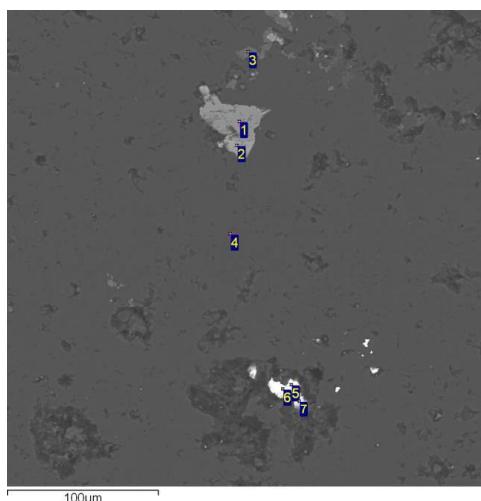


Рис. 3. Сросток тонких золотин (5–7) в ассоциации с пиритом (1), халькопиритом (2), сидеритом (3) и кварцем (4). Электронно-микроскопический снимок / Fig. 3. Growth of fine gold grains (5–7) in association with pyrite (1), chalcopyrite (2), siderite (3) and quartz (4). Electron microscopic image

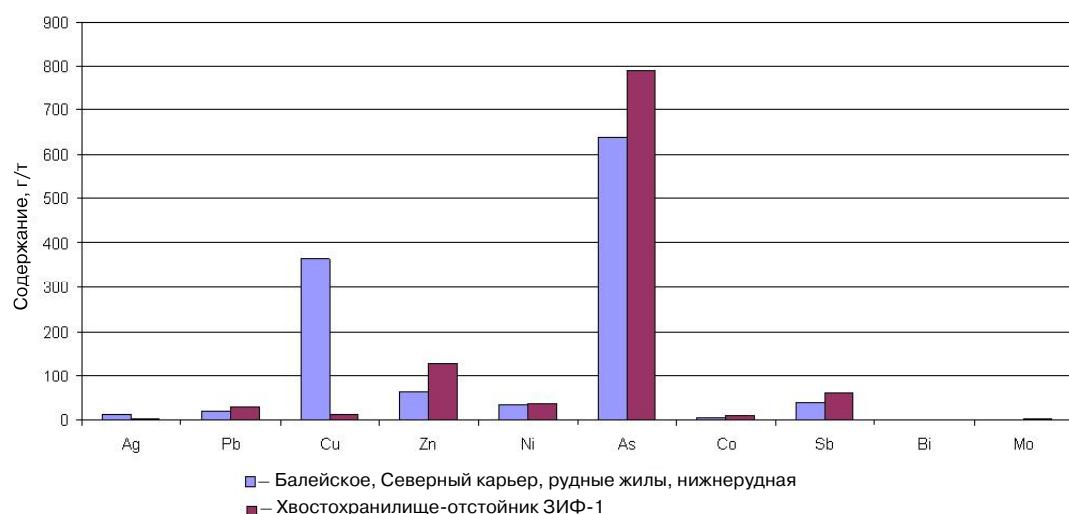


Рис.4. Соотношение содержаний главных токсичных элементов в руде и лежальных хвостах фабрики ЗИФ-1 / Fig. 4. Ratio of the main toxic elements in the ore and stale tailings of the ZIF-1 factory

Таблица 2 / Table 2

Химический состав лежальных хвостов / Chemical composition of stale tailings

Элементы / Elements	Среднее по ЗИФ-1, г/т / Average by, g / t ZIF-1,	Среднее по ЗИФ-2, г/т / Average for ZIF-2, g / t	Фоновые содержания по отчёту Читагеомониторинг (2005), г/т / Background contents according to the Chitageo-monitoring report (2005), g / t	Кларк земной коры, г/т [4] / Clark of the earth's crust, g/t [4]	Кларк почв по А. П. Виноградову (1957), г/т / Clark of soils according to A. P. Vinogradov (1957), g / t	ПДК почв, г/т / MPC of soils, g / t
As	790,25	938,9	8,23	1,8	5,0	2,0
Sb	61,50	177,6	—	0,3	0,9	4,5
Cu	12,50	46,5	20,3	53	20	100
Zn	127,75	33,8	58	68	50	23
Pb	29,75	17,4	55	12	10	32
Bi	—	13,3	0,4	0,2	—	—
Mo	1,50	2,2	1,1	1,2	2	3
Ag	1,85	1,5	0,34	0,073	0,1	—

Окончание табл. 2

Au	1,17	0,67	Н. д.	0,009	Н. д.	Н. д.
Co	10,00	7,9	8,9	23	8	5
Ni	35,38	H.o-	12,4	56	40	50
Cr	50,75	143,9	74,8	93	200	100,0
V	64	61,6	49,02	190	100	150
Rb	129,75	105	—	—	100	—
Sr	326	232	—	370	300	—
Y	17,75	12	31,11	32	50	—
Zr	163,5	164	180,03	160	300	—
Cs	129,75	27	—	—	5	—
Ba	326	467	639,37	470	500	—
La	17,75	24	30,6	30	40	—
Ce	163,5	44	0,58	70	50	—
Nd	H.o-	29	—	—	—	—

Примечание: Н. д. – нет данных.

В хвостах фабрики ЗИФ-1, перерабатывавшей руды Балейского месторождения, видно уменьшение содержаний серебра и меди, что связано с извлечением золота и сульфосолей меди, прежде всего теннантита и фрейбергита, находящихся в ассоциации с самородным золотом и содержащих серебро. Возрастание содержания цинка, мышьяка и сурьмы обусловлено тем, что антимонитовая сурьма не извлекалась, как и существенная часть арсенопирита и сфа-

лерита, с которым непосредственно золото не было связано. Серебро вместе с медью извлекалось с сульфосолями (фрейбергит) методами флотации и цианирования. Некоторая часть цинка могла попадать в отвал вследствие использования цинковой пыли в процессе цианирования.

Рекомендуемая технологическая схема переработки лежальных хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото» представлена на рис. 5.



Рис. 5. Рекомендуемая технологическая схема переработки лежальных хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото» / Fig. 5. Recommended technological scheme for processing stale tailings of ZIF-1 of the Baleizoloto plant»

Выводы.

1. В результате сравнительного анализа отходов золотоизвлекательных фабрик бывшего комбината «Балейзолото» к кондиционным для переработки и извлечения оставшегося золота и серебра признаны лежальные хвосты ЗИФ-1 с содержанием золота 1,17 г/т и серебра 1,85 г/т.

2. Золото находится в тончайших срастаниях с кварцем, сидеритом, пиритом, сульфосолями, реже – с арсенопиритом и теллуридами. Размеры золотин 0,03...0,7 мм, пробность золота 63...91,15, в среднем составляет 82,13. Основной примесью в золоте является серебро с содержанием 8,85...37 %.

По данным электронно-зондовых исследований, золотины находятся внутри мелких обломков кварца, сульфидов и сульфосолей. Положительным фактором возможного извлечения золота и серебра методами растворения является нахождение их в карбонатах и сульфосульфидном материале.

3. Из полученных данных выбрана технологическая схема переработки лежальных хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото», включающая следующие операции: фотоэлектроактивационная подготовка, окомкование с активным раствором, кучное выщелачивание, двухстадиальная сорбция с барботажем озона.

Благодарности

Авторы признательны Р. А. Филенко за изготовление рис. 4.

Работа выполнена в рамках темы 221030200408-8.

Список литературы

1. Аренс В. Ж. Геотехнология. М.: МИСиС. 2018. 100 с.
2. Аренс В. Ж., Шумилова Л. В., Фазлуллин М. И., Хчеян Г. Х. Перспективные направления химической и микробиологической переработки минерального сырья цветных и благородных металлов // Металлург. 2017. № 9. С. 82–89.
3. Балейское рудное поле. М.: ЦНИГРИ, 1984. 269 с.
4. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
5. Голик В. И., Комашенко В. И. Практика выщелачивания металлов из отходов переработки руд // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 13–23.
6. Замана Л. В., Усманов М.Т. Эколого-гидрогеоз/химическая характеристика водных объектов золотопромышленных разработок Балейско-Тасеевского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Известия Сибирского отделения. Секции Наук о Земле РАН. 2009. № 1. С. 106–110.
7. Кучное выщелачивание благородных металлов / под общ. ред. М. И. Фазлуллина. М.: Изд-во АГН, 2001. 641 с.
8. Лозовский В. И. Некоторые данные к поискам слепых рудных тел эпигермальных золоторудных месторождений // Вопросы рудоносности Восточного Забайкалья. М.: Недра, 1967. С. 7–20.
9. Секисов А. Г., Рубцов Ю. И., Лавров А. Ю. Активационное кучное выщелачивание дисперсного золота из малосульфидных руд // Записки Горного института. 2016. Т. 217. С. 96–101.
10. Спиридонов А. М., Зорина Л. Д., Китаев Н. А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: ГЕО, 2006. 292 с.
11. Юргенсон Г. А. Типоморфизм и прогноз золотосеребряного оруденения. Чита: ЗабГУ, 2014. 171 с.
12. Budikina M. E., Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Sokolova M. D. Perspective technologies for development of peat deposits in conditions of permafrost // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. 2019. Vol. 19. No 1.3. Pp. 493–498.
13. Huangling Gu, Xiaoyong Yang, Zhangxing Nie, Jianghong Deng, Liuan Duan et al. Study of late-Mesozoic magmatic rocks and their related copper-gold-polymetallic deposits in the Guichi ore-cluster district, Lower Yangtze River Metallogenic Belt, East China // International Geology Review. 2018. Vol. 60. Iss. 11–14. P. 1404–1434.
14. Lalomov A. V., Chefranov R. M., Naumov V. A., Naumova O. B., Le Barge W., Dilly R. A. Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 321–335.
15. Seredkin M., Zabolotsky A., Jeffress G. In situ recovery, an alternative to conventional methods of mining: exploration, resource estimation, environmental issues, project evaluation and economics // Ore Geology Reviews. 2016. Vol. 79. P. 500–514.

References

1. Arens V. Zh. *Geotechnologiya* (Geotechnologiya). M.: MISiS, 2018. 100 p.
2. Arens V. Zh., Shumilova L. V., Fazlullin M. I., Khcheyan G. H. *Metalurg* (Metallurgist), 2017, no. 9. pp. 82–89.
3. *Baleyskoe rudnoe polye* (Baleyskoye ore field). Moscow: TsNIGRI, 1984. 269 p.
4. Vinogradov A. P. *Geochemistry*, 1962, no. 7, pp. 555–571.
5. Golik V. I., V. I. Tomashenko. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* (News of the Tula State University. Earth Sciences), 2016, no. 3, pp. 13–23.
6. Zamana, L. V., Usmanov T. M. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya. Sektsii Nauk o Zemle RAEN* (Proceedings of the Siberian Department. Sections of Earth Sciences), 2009, no. 1, pp. 106–110.
7. *Kuchnoe vyschelachivanie blagorodnyh metallov / pod obshch. red. M. I. Fazlullina* (Heap leaching of noble metals / under the general editorship of M. I. Fazlullina). Moscow: Publishing House of AGN, 2001. 641 p.
8. Lozovsky V. I. *Voprosy rudonochnosti Vostochnogo Zabaikalia* (Questions of ore bearing capacity of Eastern Transbaikalia). Moscow: Nedra, 1967, pp. 7–20.
9. Sekisov A. G., Rubtsov Yu. I., Lavrov A. Yu. *Zapiski Gornogo instituta* (Notes of the Mining Institute), 2016, vol. 217, pp. 96–101.
10. Spiridonov A.M., Zorina L. D., Kitaev N. A. *Zolotonosnye rudno-magmatic systems of Zabaikalya* (Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia) Novosibirsk: GEO, 2006, 292 p.
11. Yurgenson G. A. *Tipomorfizm i prognoz zolotoserebryanogo orudneniya* (Typomorphism and forecast of gold-silver mineralization). Chita: Publishing House of ZabGU, 2014. 171 p.
12. Budikina M. E., Zarovnyaev B. N., Shubin G. V., Sokolova M. D. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM* (19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM), 2019, vol. 19, no. 1.3, pp. 493–498.
13. Huangling Gu, Xiaoyong Yang, Zhangxing Nie, Jianghong Deng, Liuan Duan et al. *International Geology Review* (International Geology Review), 2018, vol. 60, Iss. 11–14, pp. 1404–1434.
14. Lalomov A. V., Chefranov R. M., Naumov V. A., Naumova O. B., Le Barge W., Dilly R. A. *Ore Geology Reviews* (Ore Geology Reviews), 2017, vol. 85, pp. 321–335.
15. Seredkin M., Zabolotsky A., Jeffress G. *Ore Geology Reviews* (Ore Geology Reviews), 2016, vol. 79, pp. 500–514.

Информация об авторе

Юргенсон Георгий Александрович, д-р геол.-минерал. наук, профессор, гл. научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералогия, geoхимия,рудогенез, геммология
yurgga@mail.ru

Шумилова Лидия Владимировна, д-р техн. наук, доцент, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых, физико-химическая геотехнология, инновационные технологии, экоинженерия.
shumilovalv@mail.ru

Хаткова Алиса Николаевна, д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералого-технологическая оценка неметаллических полезных ископаемых, обоснование методов обогащения и разработка современных технологий переработки нетрадиционных видов минерального сырья для расширения сфер их практического применения.
alisa1965.65@mail.ru

Information about the author

Georgy Yurgenson, doctor of geological-mineralogical sciences, professor, chief researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia. Scientific interests: mineralogy, geochemistry, ore genesis, gemology.

Lidiya Shumilova, doctor of technical sciences, associate professor, professor, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: mineral processing, physical and chemical geotechnology, innovative technologies, eco-engineering.

Alisa Khatkova, doctor of technical sciences, professor, Chemistry department, Vice-Rector for Scientific and Innovation Work, Transbaikal State University, Chita, Russia. Scientific interests: research interests: mineral and technological assessment of non-metallic minerals, justification of enrichment methods and development of modern technologies for processing non-traditional types of mineral raw materials to expand their practical application

Для цитирования

Юргенсон Г. А., Шумилова Л. В., Хатькова А. Н. Лежалые золотоносные хвосты комбината «балейзолото» и проблема их утилизации // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. Т. 27, № 4. С. 45–54. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-45-54.

Yurgenson G., Shumilova L., Khatkova A. Stale gold-bearing tailings of the Baleizoloto plant and the problem of their disposal // Transbaikal State University Journal, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 45–54. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-45-54.

Статья поступила в редакцию: 18.05.2021 г.
Статья принята к публикации: 25.05.2021 г.