

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

А. Г. Секисов<sup>1</sup>, А. В. Рассказова<sup>1</sup>, Т. Г. Конарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, 680000, Россия, e-mail: sekisovag@mail.ru

**Аннотация:** В статье рассмотрены актуальные вопросы вовлечения в переработку техногенных (техногенно-трансформированных) золотосодержащих минеральных образований, включающих сложно извлекаемые формы золота. На основе анализа особенностей формирования таких минеральных образований и форм нахождения в них остаточного золота выделены их типы по признакам мест формирования и степени вещественно-структурной трансформации. Техногенные минеральные образования, сформированные на месте первичной добычи с незначительной вещественно-структурной трансформацией, могут в основном обрабатываться традиционными физико-техническими геотехнологиями, а трансформированные в средней степени – с использованием нестандартных комбинаций способов выемки минеральной массы, вторичной переработки и физико-химических геотехнологий. Для золотосодержащих техногенных минеральных образований, размещенных на специально отведенных площадях как со средними, так и с существенными изменениями вещественно-структурных характеристик, более предпочтительным является вариант их освоения с использованием комбинирования таких нетрадиционных физико-химических геотехнологий, как кучное, скважинное, кюветное выщелачивание. Для освоения запасов золотосодержащих хвостов обогащения руд на наиболее сложноизвлекаемыми, химически связанными дисперсными и инкапсулированными формами нахождения золота разработаны комбинированные геотехнологические схемы кучно-скважинного и кюветно-скважинного выщелачивания с преокислением и с предварительной механохимической активацией. Эффективность этих схем подтверждается результатами модельных экспериментов на пробах хвостов обогащения Балейской обогатительной фабрики ЗИФ-1, кекоохранилищ Покровского и Дарасунского рудников.

**Ключевые слова:** техногенные золотосодержащие минеральные образования, инкапсулированное и химически связанное золото, физико-химические геотехнологии, комбинированные геотехнологические схемы освоения, кучно-скважинное выщелачивание, кюветно-скважинное выщелачивание, предварительная механохимическая активация.

**Благодарности:** Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075–15–2021–663. Технологические исследования и химический анализ выполнены на базе ЦКП «ЦИМС» ХФИЦ ДВО РАН.

**Для цитирования:** Секисов А. Г., Рассказова А. В., Конарева Т. Г. Комбинированные геотехнологические схемы освоения золотосодержащих техногенных минеральных образований // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12-2. – С. 116–128. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_122\_0\_116.

---

## Combined geotechnological schemes for the development of gold-bearing technogenic mineral formations

A. G. Sekisov<sup>1</sup>, A. V. Rasskazova<sup>1</sup>, T. G. Konareva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, 680000, Russia, e-mail: sekisovag@mail.ru

---

**Abstract:** The article deals with topical issues of involvement in the processing of technogenic (technogenically transformed) gold-bearing mineral formations containing difficult-to-recover forms of gold. Based on the analysis of the features of the formation such mineral formations and the forms of residual gold in them, their types are identified according to the signs of the places of formation and the degree of material-structural transformation. Technogenic mineral formations formed at the site of primary extraction with insignificant material and structural transformation can mainly be worked out by traditional physical and technical geotechnologies, and transformed to an average degree – using non-standard combinations of methods of extraction of mineral mass, recycling and physico-chemical geotechnologies. For gold-bearing technogenic mineral formations located on specially designated areas with both medium and significant changes in material and structural characteristics, the option of their development using a combination of such unconventional physico-chemical geotechnologies as heap, borehole, cuvette leaching is more preferable. Combined geotechnological schemes of heap-borehole and cuvette-borehole leaching with pre-oxidation and with preliminary mechanochemical activation have been developed to develop reserves of gold-bearing tailings of ore enrichment with the most difficult to recover chemically related dispersed and encapsulated forms of gold finding. The effectiveness of these schemes is confirmed by the results of model experiments on samples of tailings of the enrichment of the Baleyskaya concentrating plant ZIF-1, the kek storages of the Pokrovsky and Darasunsky mines.

**Key words:** technogenic gold-bearing mineral formations, encapsulated and chemically bound gold, physico-chemical geotechnologies, combined geotechnological development schemes, heap-well leaching, cuvette-well leaching, preliminary mechanochemical activation.

**Acknowledgements:** The research was carried out using the resources of the Center for the Collective Use of Scientific Equipment "Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences", funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under Agreement No. 075-15-2021-663. Technological research and chemical analysis were carried out on the basis of the Central Research Center "CIMS" of the KHFIC FEB RAS.

**For citation:** Sekisov A. G., Rasskazova A. V., Konareva T. G. Combined geotechnological schemes for the development of gold-bearing technogenic mineral formations. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(12-1):116–128. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_122\_0\_116.

---

### Введение

Техногенные (техногенно-трансформированные) золотосодержащие минеральные образования представлены различными типами объектов, сформированными как непосредственно в местах проведения горнодобычных работ, так и перемещенными после

добычи и/или переработки на специально отведенные площади на поверхности или в выработанное пространство [1–3].

К первому типу золотосодержащих техногенно-трансформированных минеральных образований могут быть отнесены отбитые руды, оставленные

недовыпущенными в блоках по горнотехническим условиям, вследствие разубоживания или неподтверждения данных по содержанию золота, а также междуканальные и междуэтажные целики подземных рудников, межкотлованные целики и неотработанные прибортовые запасы карьерных полей.

Ко второму типу могут быть отнесены забалансовые руды, складированные в спецотвалах или использованные в качестве закладки выработанного пространства, отработанные штабели кучного выщелачивания, хвосты обогащения и промывки песков россыпей, кеки цианирования, склады огарков обжига [4–5].

Первый тип золотосодержащих техногенных минеральных образований в зависимости от степени вещественно-структурной трансформации может быть разделен на слабоизмененные (междуканальные целики, неотработанные прибортовые запасы) и частично измененные (межкотлованные целики, отбитые недовыпущенные руды).

По такому же признаку второй тип золотосодержащих техногенных минеральных образований, сформированных из перемещенной минеральной массы, техногенно-трансформированной после добычи и/или переработки, может быть разделен на три составляющие:

1. Частично измененную (частичная дезинтеграция, появление железогидроксидных пленок, дополнительная микротрещиноватость при отсутствии процессов выщелачивания и переосаждения золота в процессе хранения).

2. Средне измененную (незначительная степень окисления сульфидных и сульфосольных минералов — их частичная сульфатизация, локальная миграция золота с его переосаждением, частичным облагораживанием в объеме техногенного образования).

3. Значительно измененную в процессе длительного хранения по вещественно-структурным параметрам (высокая степень окисления сульфидных и сульфосольных минералов, вплоть до образования на их основе окисленных, гидроксильных и сульфатных соединений, высвобождение и выщелачивание золота с последующим локальным перераспределением, переосаждением или миграцией, вплоть до его значительного выноса из минерального образования).

Технологии вторичной переработки техногенных минеральных образований (ТМО), перемещенных после добычи и/или переработки, в зависимости от сложности вещественного и гранулометрического состава, форм нахождения золота, могут быть стандартными, усовершенствованными стандартными и инновационными. Незначительно измененный вещественный состав такого техногенного сырья при преобладании в нем относительно простых форм нахождения золота (высвобождаемого при измельчении или свободного мелкого) предполагает возможность его переработки с последующим использованием известных, но усовершенствованных способов обогащения [6–9]. Применительно к хвостам гравитационного и/или флотационного обогащения руд это могут быть схемы флотационно-электрофлотационной переработки и активационного выщелачивания, а к золотосодержащим техногенным россыпным объектам — вторичная промывка малоизмененных в процессе хранения эфелей и хвостов промывки с мелким золотом посредством использования центробежных концентраторов. В большинстве же случаев такие объекты, как эфели и хвосты промывки песков, хотя существенно и не трансформируются при хранении в отвалах, как правило,

характеризуются присутствием в них пластинчатого, «тонкого», переосажденного, инкапсулированного и даже химически связанного золота [10–13]. Кроме того, на приисках они редко отдельно складываются (чаще всего, галля складывается совместно с эфелями, или эфели смешиваются –забуториваются — с хвостами промывки песков), поэтому в большинстве случаев для таких техногенных объектов, как золотосодержащие гале-эфельные отвалы (ГЭО), должны применяться комбинированные схемы освоения [14–20].

### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследований являлись золотосодержащие техногенные минеральные образования, сформированные из хвостов промывки песков, эфелей и гали, а также перемещенной рудной минеральной массы, техногенно-трансформированной после добычи и/или переработки.

Гале-эфельные отвалы Кручининского прииска при наличии в них забуторенных хвостов промывки содержат в мелкой фракции золото размерностью преимущественно –0,2 мм, различной морфологии, а также его дисперсные, химически связанные формы нахождения. Для таких техногенных объектов авторами предложена комбинированная схема последовательного отделения обогащенных золотом мелких фракций и доулавливания из них мелкого и чешуйчатого (плавающего) золота на шлюзах с электро и/или магнитными завихрителями потока и последующим кюветным выщелачиванием золота из тонких фракций и хвостов промывки мелких фракций (рис. 1).

В некоторых техногенных россыпных объектах помимо свободного золота и золота, инкапсулированного и химически связанного в минералах

шлиховой фракции, мелких и тонких частицах кварца-халцедона, может присутствовать и золото микронных – субмикронных размеров, относительно прочно связанное с внешними и внутренними (в микротрещинах и порах) поверхностями минералов глин и слюд. Соответственно, такое золото практически полностью теряется при промывке песков на промприборах. В то же время оно сложно выщелачивается из хвостов. В частности, для хвостов шлихообогатительной установки (ШОУ) прииска Архара (Амурская область) установлен факт присутствия субмикронного амальгамируемого золота, которое выщелачивается только в течение 72 часов. В тонком классе (–0,1 мм) шлиховой фракции песков россыпи Кундулук (Забайкальский край) такое золото выявляется после амальгамации, но стандартным цианированием не извлекается. Эта форма золота доступна контакту с ртутью или с комплексообразователем, но, вероятно, такое золото кластеризовано и/или тесно ассоциировано (химически связано в природных сплавах, амальгамах природных и техногенных) с серебром. Возможно, оно присутствует в форме биэлементных (золото-серебряных) кластеров. В любом случае, для его растворения требуется использование предокисления или в общем случае вещественно-структурной трансформации минеральной массы – прямые или опосредованные активирующие воздействия на систему раствор – минеральная среда.

Для переработки техногенных образований, содержащих такие формы золота, была разработана схема, представленная на рис. 2. В соответствии с этой схемой хвосты промывки и ШОУ складываются в штабели и орошаются окисляющим и выщелачивающим растворами до полной пропитки, выдер-

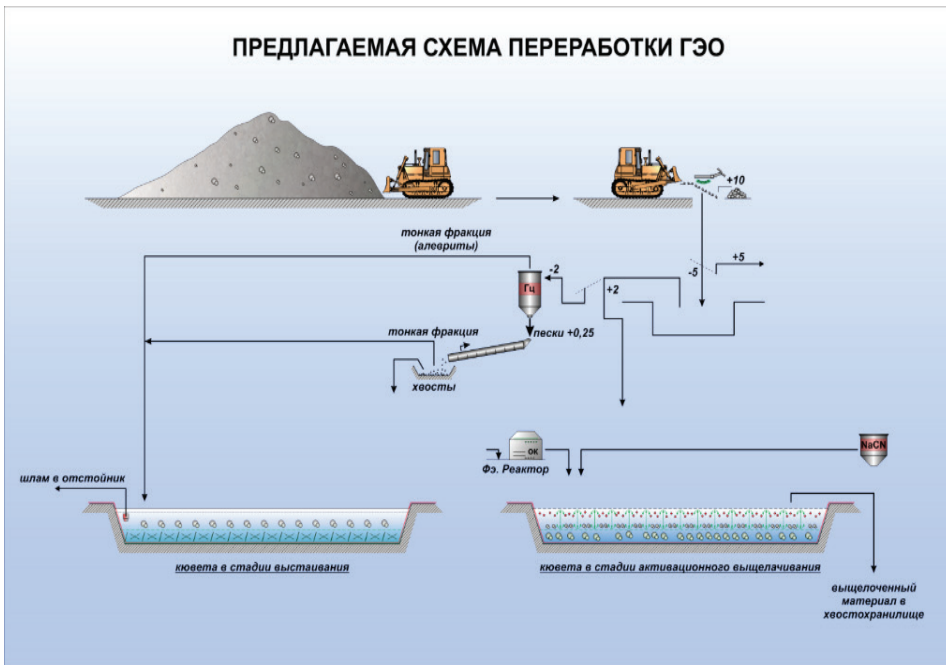


Рис. 1. Схема комбинированной переработки минеральной массы гале-эфельных отвалов с кюветным выщелачиванием золота из тонких фракций

Fig. 1. Scheme of combined processing of the mineral mass of alluvial tailing dumps with cuvette leaching of gold from fine fractions

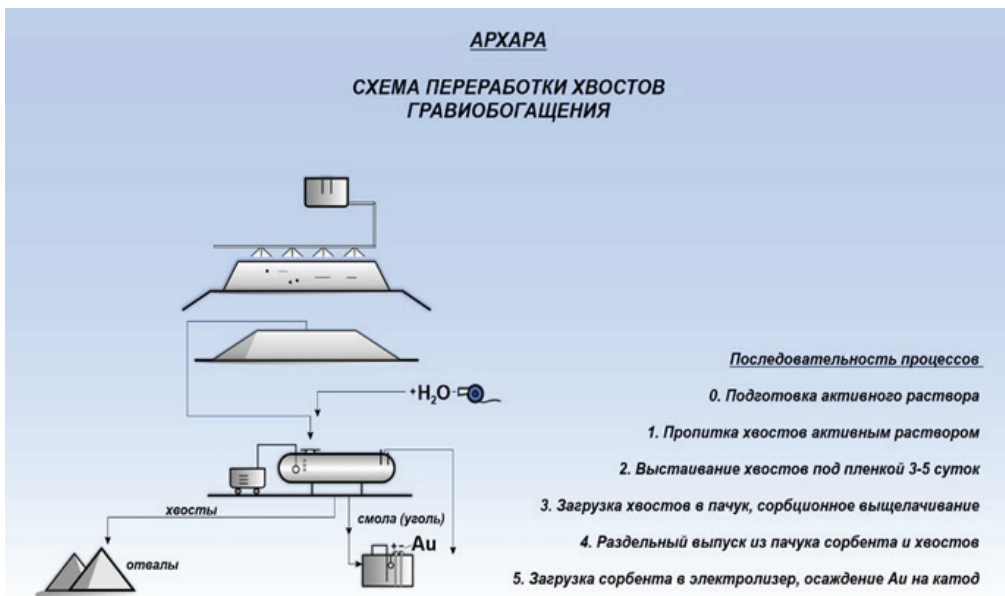


Рис. 2. Схема комбинированной переработки минеральной массы хвостов промывки и ШОУ с кучно-чановым выщелачиванием золота из тонких фракций

Fig. 2. Scheme of combined processing of tailings with heap-vat leaching of gold from fine fractions

живаются для обеспечения диффузионного окисления и выщелачивания в штабеле в течение 3-х суток.

После этого минеральная масса смешивается с водой, а полученная пульпа совместно с сорбентом порционно загружается в пачук, в котором производится сорбционное выщелачивание золота в агитационном режиме.

В песчаной фракции лежалых хвостов Балейской золотоизвлекательной фабрики ЗИФ-1 золото находится преимущественно в тонких сростках с кварцем, карбонатами, пиритом, арсенипиритом, сульфосолями и теллуридами, поэтому относительно доступно для растворов комплексообразователей. В песчано-глинистой (алевритовой) фракции в основном присутствует инкапсулированное и дисперсное, химически связанное золото (включения преимущественно в мельчайших частицах кварца и халцедона). Для формирования дополнительной сети микротрещин и пор в минеральной матрице мелких частиц кварца-халцедона с включениями оксидов и гидроксидов железа, передислокации и наноагрегации внутриминеральных наночастиц дисперсного золота его выщелачивание целесообразно проводить в режиме механохимической активации цианидно-пероксидным раствором, отдельно подготовленным в электрохимическом реакторе. При этом в лабораторных условиях достигнуто извлечение золота на уровне 92%. Контрольная схема при той же концентрации цианида натрия обеспечивает максимальное извлечение в 52% и 57,5% с механохимической активацией.

Для освоения золотосодержащих хвостов обогащения балейских руд, уложенных на условно слабопроницаемом основании, разработана геотехнологическая схема кучно-сква-

жинного выщелачивания (рис. 3). Первоначально осуществляется опережающая выемка лежалых хвостов (1) драглайном или обратной лопатой (7) с высоким содержанием песчано-глинистой фракции, илистых и шламовых классов. Материал проходит стадию механохимической активации в среде специальных растворов, окомковывается и укладывается в штабели (5) на поверхность участка хвостохранилища с повышенным содержанием песчаного, относительно крупнофракционного материала, на котором предварительно пробурены буровыми станками (6) закачные и откачные скважины (3). Выщелачивающие активированные растворы подаются в основную часть массива хвостохранилища, представленную песчаной фракцией, через кюветы, образованные при выемке глинисто-шламового материала (4) и закачные скважины (3), а также через оросительную систему, смонтированную на поверхности штабеля (5). Продуктивные растворы откачиваются через откачные скважины и подаются в сорбционные колонны, установленные на поверхности.

### Результаты экспериментов

Эксперименты по выщелачиванию инкапсулированного и дисперсного золота из кеков, сорбционному цианированию активированными растворами с использованием режима механохимической активации были проведены на пробах кекоохранилища Покровского рудника. Полученные результаты минералогических и электронно-микроскопических исследований кеков цианирования рудника Покровский, результаты агитационного и активационного выщелачивания с механохимической обработкой в различных реагентных средах позволяют сделать определенный вывод о преимущественно наноразмер-



ной форме нахождения в них остаточного золота, в условно нерастворимых минеральных матрицах. Для этого объекта, в отличие от БалеЙского хвостохранилища, характерна выраженная вертикальная зональность фракционного и минерального состава материала, концентрации золота при относительно выдержанном соотношении его форм нахождения в плане (табл. 1).

Извлечение золота при стандартном цианировании в агитаторах для всех трех проб составило менее 30%, т.е. кеки, как и ожидалось, несмотря на длительные сроки хранения представляют собой упорное золотосодер-

жащее сырье. По данным результатов анализа экспериментальных технологических проб содержание золота в жидкой фазе увеличивается пропорционально продолжительности механохимической активации пульпы, подготовленной на основе активного карбонатно-цианидного раствора для всех проб (табл. 2).

Для освоения запасов золота этого кекохранилища предложена комбинированная схема цветочно-скважинного выщелачивания с механохимической активацией пульпы (рис. 4).

В соответствии с этой схемой после послыйного извлечения в кон-

Таблица 1

**Результаты химического анализа кеков цианирования Покровского месторождения**  
*Results of chemical analysis of cyanidation cakes from the Pokrovskoe deposit*

Элемент	Содержание, г/т, %		
	Проба №1 (верхний горизонт)	Проба №2 (средний горизонт)	Проба №3 (нижний горизонт)
Au	0,28	0,45	0,32
Ag	2,59	4,45	3,75
Cu	11,95	17,9	10,93
Fe (%)	1,28	1,28	1,15

Таблица 2

**Результаты экспериментального выщелачивания второй и третьей пробы с механохимической активацией пульпы, подготовленной на основе активного карбонатно-цианидного раствора**  
*Results of experimental leaching of the second and third samples with mechanochemical activation of pulp prepared on the basis of an active carbonate-cyanide solution*

Элемент	Содержание в твердой и жидкой пробе (средний горизонт), г/т				Содержание в твердой и жидкой пробе (нижний горизонт), г/т			
	Au	Ag	Cu	Fe	Au	Ag	Cu	Fe
Исходное содержание	0,45	4,272	17,909	12800	0,32	3,561	11,031	11500
Механоактивация 1	0,096	2,86	4,31	28,29	0,091	1,92	1,80	25,58
30 мин	0,27	2,79	4,51	16,64	0,21	1,43	2,66	15,01
60 мин	0,27	2,72	4,65	17,41	0,23	1,10	2,76	16,74
90 мин	0,25	2,36	4,64	17,81	0,24	1,56	2,88	17,53
120 мин	0,32	2,76	4,68	17,82	0,30	2,29	2,90	17,78
Извлечение, %	71,11	65,3	26,14	0,14	93,7	64,32	26,29	0,15

### СХЕМА КУЧНО-СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

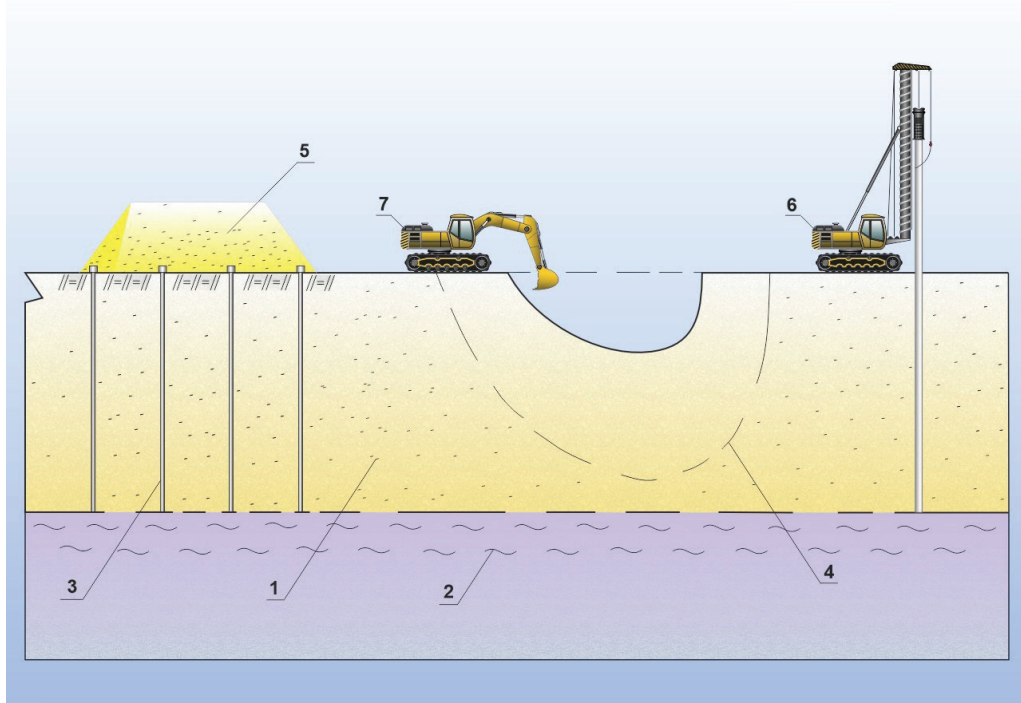


Рис. 3. Схема кучно-скважинного выщелачивания золота из лежалых хвостов обогащения Балейской ЗИФ-1

Fig. 3. Scheme of heap-hole leaching of gold from old tailings of the Baleysk gold recovery factory

турах кювет кеки подвергаются механохимической обработке в цианидно-пероксидной среде и без окомкования укладываются в кювету с гидроизолированной внутренней поверхностью и последующим орошением слабо концентрированными рабочими растворами до образования пульпы.

Агитация сформированной пульпы проводится периодически сжатым воздухом через перфорированные трубы, выполняющие функцию скважин. При использовании механохимической активации и цианидно-карбонатных растворов извлечение увеличилось до 73% и 93% соответственно по пробам, отобраным из среднего (от 3–4 до 8–9 м) и глубинного слоев (8–9 до 12–18 м) Покровского кекохрани-

лища. Сорбция растворенного золота из пульпы, подготовленной на базе растворов такого состава, проходит достаточно полно.

Примером золотосодержащих техногенных минеральных образований, значительно измененных в процессе длительного хранения по вещественно-структурным параметрам (высокая степень окисления сульфидных и сульфосольных минералов), являются лежалые кеки сорбционного цианирования Дарасунского рудника. Содержание золота в них составляет 5–7 г/т.

При подготовке из таких кеков пульпы путем добавления воды рН достигает уровня 1,5–2,0 вследствие естественных окислительных процессов, приведших к образованию в них



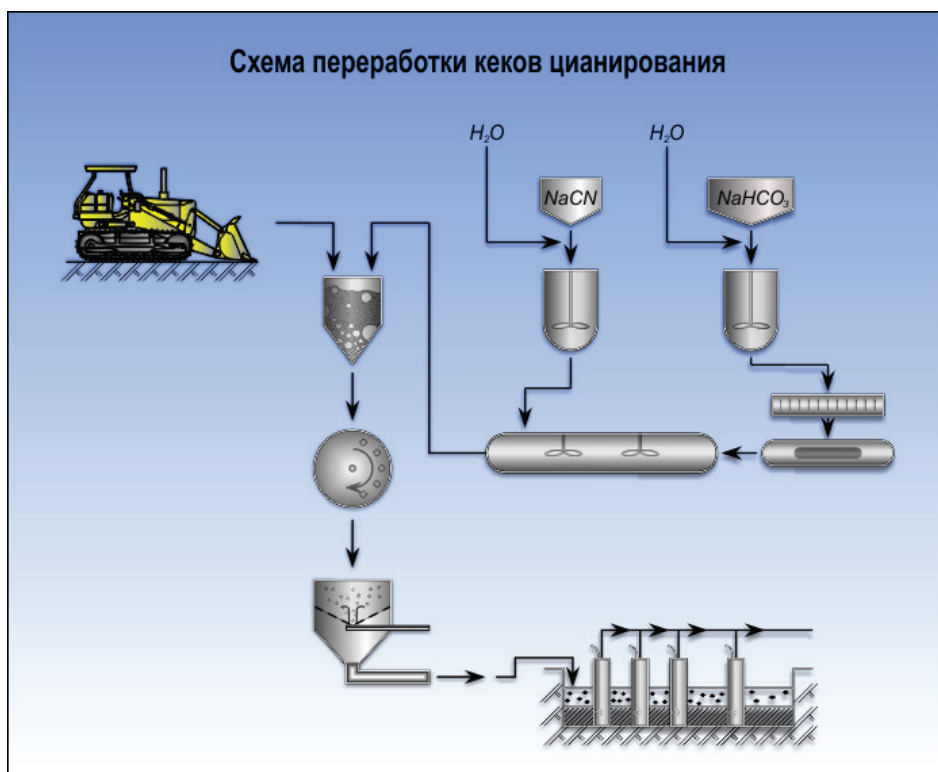


Рис. 4. Схема кюветно-скважинного выщелачивания золота с предварительной механохимической обработкой

Fig. 4. Scheme of cuvette-hole leaching of gold with preliminary mechanochemical treatment

сульфатов и порового серноокислотного раствора. При кондиционировании пульпы щелочью перед цианированием ее pH уже через 10–15 мин с 10,5–11,0 снижался до 2,5–3,5. Поэтому экспериментальное выщелачивание из кеков, вскрытых естественными процессами дисперсного золота, осуществлялось тиомочевинными растворами. Для интенсификации его извлечения путем создания окислительных условий в кеки добавлялась активированная электрохимической обработкой техническая вода до достижения Ж : Т = 1 : 1. В результате такой предварительной обработки воды в ней образуются перекисные соединения, поэтому при контакте с жидкой фазой пульпы, при pH = 2,0–2,5, железо, находяще-

еся в составе сульфидных минералов и арсенопирита, при взаимодействии с перекисными соединениями продуцирует сильный окислитель – гидроксил-радикал (процесс Фентона:  $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^{\bullet} + \text{OH}^-$ ). Далее в пульпу вводилась тиомочевина (до концентрации 20 г/л). Трехвалентное железо также, как известно, является окислителем, опосредованно катализирующим реакцию комплексообразования дисперсного золота с тиомочевинной. Извлечение золота из лежалых кеков с использованием предварительной активации составило 78–82 %. По контрольной навеске пробы при таком же расходе тиомочевины и таком же pH за это же время извлечено только 56–58 % золота. Переработка лежалых

Дарасунских кеков может осуществляться по схеме кюветно-скважинного выщелачивания с предоξειлением их активированной водой, подаваемой через перфорированные трубы в режиме пропитки, а затем, при переводе кеков в пульпообразное состояние, осуществляется периодическая электрохимическая активация процесса посредством подачи напряжения на электродах, размещаемых в трубах. На завершающем этапе, при подаче в пульпу тиомочевины, трубы выполняют функцию барботеров.

### Выводы

1. При освоении техногенных (техногенно-трансформированных) золото-содержащих минеральных образований, в зависимости от условий их формирования, степени вещественно-структурной трансформации и форм нахождения золота целесообразно применять различные комбинированные технологические схемы и гибко оптимизировать параметры основных процессов.

2. Для освоения запасов золото-содержащих хвостов обогащения руд с изменчивостью фракционного состава, содержания золота и форм его нахождения разработаны комбинированные геотехнологические схемы кучно-скважинного и кюветно-сква-

жинного выщелачивания с предварительной механохимической активацией фракций, содержащих дисперсное и инкапсулированное золото. Эффективность этих схем подтверждается результатами модельных экспериментов на пробах хвостов обогащения Балейской обогатительной фабрики ЗИФ-1, кекохранилищ Покровского и Дарасунского рудников.

3. Проведенные на пробах лежалых кеков Покровского рудника и хвостов обогащения Балейского лабораторные эксперименты позволили установить, что прямая механохимическая активация в цианидно-карбонатной среде и предварительная пропитка активированным пероксидно-карбонатным раствором перед механохимическим активационным цианидным выщелачиванием позволяют получить приемлемое извлечение (доизвлечение) наиболее сложных форм нахождения золота из условно нерастворимых матриц кварца-халцедона.

4. При переработке лежалых кеков начального сульфидно-сульфосольного состава с его глубокой трансформацией в процессе хранения, сопровождающегося сульфатизацией, извлечение (доизвлечение) золота целесообразно проводить активированными тиомочевинными растворами по схеме кюветно-скважинного выщелачивания с предоξειлением.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеенко В. Г., Кузнецова И. В. Роль наночастиц золота, серебра и свинца в образовании месторождений благородных металлов // Доклады РАН. — 2010. — № 3. — С. 377–381.

2. Larrea-Gallegos G., Kahhat R., Vázquez-Rowe I., Parodi E. A machine learning approach to understand how accessibility influences alluvial gold mining expansion in the Peruvian Amazon // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023, vol. 7, 100353. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100353.

3. Echeverry-Vargas L., Ricardo Rojas-Reyes N., Ocampo-Carmona L. M. Recovery of light rare earth elements, cerium, lanthanum, and neodymium from alluvial gold mining waste from the Bagre-Nechí mining district in Colombia using acid leaching, oxalate precipitation and calcination // Hydrometallurgy. 2023, vol. 216, 106009. DOI:10.1016/j.hydromet.2022.106009.

4. *Djibril Kouankap Nono G., Bongsiysi E. F., Tamfuh P. A., Nyangono Abolo A. J., Kehding B. F., Kibong N. F., Suh E. Ch.* Gold deposit type and implication for exploration in the Abiet-Toko Gold District, South Cameroon: constraint from morphology and microchemistry of alluvial gold grains // *Heliyon*. 2021, vol. 7, Iss. 4. DOI: 110.1016/j.heliyon.2021.e06758.

5. *Fominykh P. A., Nevolko P. A., Svetlitskaya T. V., Kolpakov V. V.* Native gold from the Kamenka-Barabanovsky and Kharuzovka alluvial placers (Northwest Salair Ridge, Western Siberia, Russia): Typomorphic features and possible bedrock sources // *Ore Geology Reviews*. 2020, vol. 126, 103781. DOI:110.1016/j.oregeorev.2020.103781.

6. Патент РФ № 1548416, 07.03.1990. *Секисов А. Г., Хакулов В. А., Бударагин А. Ю., Томских А. А., Воробьев А. Е.* Способ выщелачивания отвалов. 1990. Бюл. № 9.

7. *Ковляков И. И.* Техногенное золото Якутии. — М.: Горная книга, 2000. — 303 с.

8. *Bahamondez C., Castro R., Vargas T., Arancibia E.* In situ mining through leaching: experimental methodology for evaluating its implementation and economic considerations // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2016, vol. 116, Iss. 7. — pp. 689–698. DOI: 10.17159/2411–9717/2016/v116n7a11.

9. Патент РФ № 2461637. *Секисов А. Г., Резник Ю. Н., Рубцов Ю. И., Александрова Т. Н., Лавров А. Ю.* Способ переработки техногенного минерального сырья с извлечением промышленно ценных и/или токсичных компонентов. 2012. Бюл. № 26.

10. *Алексеев В. С., Сас П. П., Серый Р. С.* Экспериментальные исследования технологии формирования продуктивных зон в техногенных россыпных месторождениях золота // *Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых*. — 2017. — № 3. — С. 191–197.

11. *Рассказова А. В., Лавров А. Ю., Конарева Т. Г., Бобохолов М. К.* Использование физико-химических геотехнологий при эксплуатации техногенных минеральных образований золотодобывающих артелей // *Физико-химическая геотехнология: инновации и тенденции развития: материалы Международной научно-практической конференции*. — Чита, 2021. — С. 17–20.

12. *Александров А. В., Богомяков Р. В., Конарева Т. Г.* Технологические аспекты извлечения золота из техногенных образований Забайкальского края // *Обогащение руд*. — 2019. — No 5. — С. 41–46.

13. *Александрова Т. Н., Литвинова Н. М., Александров А. В., Корчевенков С. А., Богомяков Р. В.* Анализ потерь благородных металлов и рациональные методы их снижения при разработке россыпных месторождений // *Цветные металлы*. — 2014. — № 5 (857). — С. 11–15.

14. *Edgar J. O., Gould J. A., Badreshany K., Telling J.* Mechanochemical generation of perchlorate // *Icarus*. 2022, vol. 387, Iss. 15. 115202. DOI: 10.1016/j.icarus.2022.115202.

15. *Türker L.* Thermobaric and enhanced blast explosives (TBX and EBX) // *Defence Technology*. 2016, vol. 12, Iss. 6. — pp. 423–445. DOI:10.1016/j.dt.2016.09.002.

16. *Дементьев В. Е., Дружина Г. Я., Гудков С. С.* Кучное выщелачивание золота и серебра. — Иркутск: Иргиредмет, 2004. — 352 с.

17. *Чебан А. Ю., Секисов Г. В., Хрунина Н. П., Соболев А. А., Угай С. М.* Перспективы развития Дальневосточного региона и экологические аспекты ведения горных работ // *Системы. Методы. Технологии*. — 2015. — № 3 (27). — С. 156–166.

18. *Алексеев В. С., Серый Р. С., Соболев А. А.* Повышение извлечения мелкого золота на промывочном приборе шлюзового типа // *Обогащение руд*. — 2019. — № 5. — С. 13–18. DOI: 10.17580/or.2019.05.03.

19. *Александрова Т. Н.* Комплексная и глубокая переработка минерального сырья природного и техногенного происхождения: состояние и перспективы // *Записки Горного института*. — 2022. — Т. 256. — С. 503–504. EDN: UMOCVA.

20. *Александрова Т. Н., Кусков В. Б.* Разработка методов повышения эффективности гравитационного извлечения мелкого и тонкого золота из россыпей различного генезиса // *Записки Горного института*. — 2014. — Т. 210. — С. 69–77. EDN: TGNKRJ. **PLAB**

## REFERENCES

1. Moiseenko V. G., Kuznetsova I. V. The role of gold, silver and lead nanoparticles in the formation of deposits of precious metals. Reports of the Russian Academy of Sciences. 2010, no. 3, pp. 377–381. [In Russ].
2. Larrea-Gallegos G., Kahhat R., Vázquez-Rowe I., Parodi E. A machine learning approach to understand how accessibility influences alluvial gold mining expansion in the Peruvian Amazon. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2023, vol. 7, 100353. DOI:10.1016/j.cscee.2023.100353.
3. Echeverry-Vargas L., Ricardo Rojas-Reyes N., Ocampo-Carmona L. M. Recovery of light rare earth elements, cerium, lanthanum, and neodymium from alluvial gold mining waste from the Bagre-Nechí mining district in Colombia using acid leaching, oxalate precipitation and calcination. Hydrometallurgy. 2023, vol. 216, 106009. DOI:110.1016/j.hydromet.2022.106009.
4. Djibril Kouankap Nono G., Bongsyiysi E. F., Tamfuh P. A., Nyangono Abolo A. J., Kehding B. F., Kibong N. F., Suh E. Ch. Gold deposit type and implication for exploration in the Abiete-Toko Gold District, South Cameroon: constraint from morphology and microchemistry of alluvial gold grains. Heliyon. 2021, vol. 7, Iss. 4. DOI: 110.1016/j.heliyon.2021.e06758.
5. Fominykh P. A., Nevolko P. A., Svetlitskaya T. V., Kolpakov V. V. Native gold from the Kamenka-Barabanovsky and Kharuzovka alluvial placers (Northwest Salair Ridge, Western Siberia, Russia): Typomorphic features and possible bedrock sources. Ore Geology Reviews. 2020, vol. 126. DOI: 110.1016/j.oregeorev.2020.103781.
6. Patent Russian Federation No. 1548416, 03/07/1990. Sekisov A. G., Khakulov V. A., Budaragin A. Yu., Tomskikh A. A., Vorobyov A. E. Method for leaching dumps. 1990. Bull. no. 9. [In Russ].
7. Kovlyakov I. I. Technogenic gold of Yakutia. M.: Mining Book, 2000. 303 p. [In Russ].
8. Bahamondez C., Castro R., Vargas T., Arancibia E. In situ mining through leaching: experimental methodology for evaluating its implementation and economic considerations. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2016, vol. 116, Iss. 7, pp. 689–698. DOI: 10.17159/2411–9717/2016/v116n7a11.
9. Patent Russian Federation No. 2461637. Sekisov A. G., Reznik Yu. N., Rubtsov Yu. I., Aleksandrova T. N., Lavrov A. Yu. A method for processing technogenic mineral raw materials with the extraction of industrially valuable and/or toxic components. 2012. Bull. no. 26. [In Russ].
10. Alekseev V. S., Sas P. P., Seryi R. S. Experimental studies of the technology of formation of productive zones in technogenic placer gold deposits. Physico-technical problems of development of mineral deposits. 2017, no. 3, pp. 191–197. [In Russ].
11. Rasskazova A. V., Lavrov A. Yu., Konareva T. G., Boboholov M. K. The use of physico-chemical geotechnologies in the operation of technogenic mineral formations of gold mining areas. Physico-chemical geotechnology: innovations and development trends. International Scientific and Practical Conference: collection of materials. Chita, 2021. pp. 17–20. [In Russ].
12. Alexandrov A. V., Bogomyakov R. V., Konareva T. G. Technological aspects of gold extraction from technogenic formations of the Trans-Baikal Territory. Ore enrichment. 2019, no. 5, pp. 41–46. [In Russ].
13. Aleksandrova T. N., Litvinova N. M., Aleksandrov A. V., Korchevenkov S. A., Bogomyakov R. V. Analysis of losses of precious metals and rational methods for their reduction during the development of placer deposits. Non-ferrous metals. 2014, no. 5 (857), pp. 11–15. [In Russ].
14. Edgar J. O., Gould J. A., Badreshany K., Telling J. Mechanochemical generation of perchlorate. Icarus. 2022, vol. 387, iss. 15, 115202. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2022.115202>.

15. Türker L. Thermobaric and enhanced blast explosives (TBX and EBX). Defence Technology. 2016, vol. 12, Iss. 6, pp. 423–445. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2016.09.002>.

16. Demytyev V. E., Druzhina G. Ya., Gudkov S. S. Heap leaching of gold and silver. Irkutsk: Irgridmet, 2004, 352 p. [In Russ].

17. Cheban A. Yu., Sekisov G. V., Khrunina N. P., Sobolev A. A., Ugai S. M. Prospects for the development of the Far Eastern region and environmental aspects of mining operations. Systems. Methods. Technologies. 2015, no. 3 (27), pp. 156–16. [In Russ].

18. Alekseev V. S., Seriy R. S., Sobolev A. A. Increasing the extraction of fine gold on a sluice-type washing device. Ore enrichment. 2019, no. 5, pp. 13–18. DOI: 10.17580/or.2019.05.03. [In Russ].

19. Alexandrova T. N. Complex and deep processing of mineral raw materials of natural and technogenic origin: status and prospects. Journal of Mining Institute. 2022, vol. 256, pp. 503–504. EDN: UMOCVA. [In Russ].

20. Aleksandrova T. N., Kuskov V. B. Development of methods for increasing the efficiency of gravitational extraction of small and thin gold from placers of various origins. Journal of Mining Institute. 2014, vol. 210, pp. 69–77. EDN: TGNKRJ. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Секисов Артур Геннадиевич* — докт. техн. наук, зам. директора по науке, глав. науч. сотр., e-mail: [sekisovag@mail.ru](mailto:sekisovag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5780-6150>, Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГД ДВО РАН), 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51;

*Рассказова Анна Владимовна* — канд. техн. наук, ведущ. науч. сотр., e-mail: [annabot87@mail.ru](mailto:annabot87@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6998-8120> Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГД ДВО РАН), 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51;

*Конарева Татьяна Геннадьевна* — научный сотрудник, e-mail: [konar\\_tat@mail.ru](mailto:konar_tat@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0001-9889-3721>, Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГД ДВО РАН), 680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Sekisov A. G.*, Dr. Sci. (Eng.), Deputy. Director of Science, head of scientific department. e-mail: [sekisovag@mail.ru](mailto:sekisovag@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0001-5780-6150> Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IGD FEB RAS), 680000, Khabarovsk, Turgenev str., 51;

*Rasskazova A. V.*, Cand. Sci. (Eng.), presenter. sci. sort e-mail: [annabot87@mail.ru](mailto:annabot87@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6998-8120>, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IGD FEB RAS), 680000, Khabarovsk, Turgenev tr.51;

*Konareva T. G.*, researcher, e-mail: [konar\\_tat@mail.ru](mailto:konar_tat@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9889-3721>, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IGD FEB RAS), 680000, Khabarovsk, Turgenev str., 51.

Получена редакцией 05.10.2023; получена после рецензии 27.10.2023; принята к печати 10.11.2023.

Received by the editors 05.10.2023; received after the review 27.10.2023; accepted for printing 10.11.2023

