



Оригинальная статья / Original article

УДК 622.75/77

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>

Актуальные способы отработки техногенных россыпных месторождений золота с технологией извлечения мелкого золота

© С.А. Прокопьев^a, Е.С. Прокопьев^b, И.В. Кадесников^c, Н.А. Черимичкина^d^{a-d}Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия^{a,b}Иркутский научный центр СО РАН, г. Иркутск, Россия^{a-d}ООО ПК «Спирит», г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью данного исследования являлось проведение промышленных испытаний технологии винтовой сепарации на техногенном труднообогатимом сырье. Объектом исследования стало россыпное месторождение золота Юрское в Республике Саха (Якутия). Для проведения опытной отработки эфельных отвалов месторождения с максимальным извлечением мелкого золота осуществлялся монтаж обогатительного комплекса ОКВ-100 производительностью 100 м³/ч по исходным пескам. Пески подавались с разных участков техногенного месторождения и имели разное содержание золота, гранулометрические характеристики, минералогический состав. В ходе исследования проводились эксперименты при работе на разном исходном питании, оборудование настраивалось под конкретное сырье в зависимости от производительности, соотношения «жидкое / твердое», выхода продуктов модуля извлечения мелкого золота. Производительность комплекса составляла от 90 до 150 м³/ч. Определялись выход и извлечение золотосодержащего концентрата, а также содержание в нем золота. В результате опытной промывки с применением технологии извлечения мелкого золота среднее доизвлечение золота из хвостов шлюзов составило 19,07 %, что является высоким показателем, если учитывать невысокие содержания золота в техногенных россыпях. Рассмотренная технология может применяться для отработки как техногенных, так и эксплуатируемых россыпных месторождений золота.

Ключевые слова: винтовая сепарация, золото, техногенные россыпи

Благодарности: Авторы выражают благодарность ПАО «Селигдар» и ООО «Артель Новая» за содействие в работе на техногенном россыпном месторождении золота.

Для цитирования: Прокопьев С.А., Прокопьев Е.С., Кадесников И.В., Черимичкина Н.А. Актуальные способы отработки техногенных россыпных месторождений золота с технологией извлечения мелкого золота. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 4. С. 458–466. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>

Current methods of technogenic gold placer deposit mining with small size gold extraction technology

© Sergey A. Prokopiev^a, Evgeniy S. Prokopiev^b, Igor V. Kadesnikov^c, Natalia A. Cherimichkina^d^{a-d}Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia^{a,b}Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia^{a-d}LLC PC Spirit, Irkutsk, Russia

Abstract: The purpose of this article is to conduct industrial tests of spiral separation technology on technogenic refractory raw materials. The object of the study is the Yurskoye gold placer deposit in the Republic of Sakha (Yakutia). An OKV-100 beneficiation complex with the productive capacity of 100 m³/h by initial sands was set up in order to conduct pilot mining of the fine-grained tailings dumps of the Yurskoye deposit with the maximum extraction of small size gold. Sands supplied from the different sections of the technogenic deposit had different gold content, granulometric characteristics, and mineralogical composition. The study included experiments carried out at different initial feed; equipment was adjusted for specific raw material depending on productive capacity, liquid/solid ratio, product yield of the small size gold recovery module. The complex productivity was from 90 to 150 m³/h. The yield and extraction of gold-bearing concentrate, as well as its gold content were determined. The pilot washing with the use of small size gold recovery technology resulted in the average additional gold recovery from sluice tailings of 19.07 %, which is a high indicator, given the low content of gold in technogenic placers. The technology under consideration can be used for the development of both technogenic and operated gold placer deposits.

Keywords: spiral separation, gold, technogenic placer

Acknowledgements: The authors gratefully acknowledge the assistance of Seligdar PJSC и New Artel LLC for their assistance in the work at the technogenic gold placer.



For citation: Prokopyev SA, Prokopyev ES, Kadesnikov IV, Cherimichkina NA. Current methods of technogenic gold placer deposit mining with small size gold extraction technology. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(4):458–466. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>

Введение

За годы промышленной отработки россыпных месторождений золота в России разработаны различные технологии переработки золотосодержащих песков. В основе разработанных и применяемых технологий лежит использование силы тяжести, при которой тяжелые минералы, включая золото, отделяются от пустой породы за счет разницы их плотностей [1, 2].

В то время, когда основная масса добываемого золота была представлена купными классами (более 1–2 мм), применялась самая простая технология с использованием в качестве обогатительного оборудования прямочных шлюзов. Принцип ее действия заключается в прохождении подготовленной пульпы по желобу, который застелен специальными ячеистыми ковриками и трафаретами. Проходящий по желобу материал распределяется в турбулентном потоке на легкую и тяжелую фракции. Легкая фракция в виде минералов пустой породы смывается с желоба, а тяжелая фракция в виде золотосодержащего шлиха осаждается на ячеистых ковриках [3–5]. Основным недостатком этого способа является неполное извлечение золота, особенно мелкого. Многими исследователями выявлено, что при использовании шлюзов золото крупностью от 0,5 до 0,2 мм теряется в хвостах наполовину, а золото мельче 0,2 мм уходит в хвосты практически полностью.

С учетом того, что на многих месторождениях основная масса золота была представлена мелкими классами (до 50 % составляло золото крупностью менее 0,25 мм), применение только шлюзовой технологии приводило к большим потерям. Таким образом, за годы

переработки россыпных месторождений накоплено множество золотосодержащих отвалов (техногенных месторождений), простирающихся от Урала до Дальнего Востока и районов Крайнего Севера, представляющих собой огромный резерв минерально-сырьевой базы россыпного золота, перспективного для повторной переработки [6–10].

При выборе технологии переработки для техногенных месторождений золота важно понимать, что каждое месторождение индивидуально и имеет свой вещественный состав. Это гранулометрические характеристики песков, содержание и распределение золота по классам крупности, морфологические характеристики золота, выход и состав тяжелой фракции (шлиха), содержание глинистой фракции. Все эти составляющие влияют на эффективность обогащения и выбор технологии переработки^{1–6} [11].

Объект исследования

Объектом данного исследования являлось россыпное месторождение золота Юрское в Республике Саха (Якутия). Месторождение расположено в долине одноименного ручья Юрский, правого притока реки Гонам. Оно находится в пределах Верхне-Тимптонского золотоносного района и относится к Гонамскому золотоносному узлу.

Отработка месторождения ведется с 1995 г. и продолжается до настоящего времени. За все время промывки переработано около 30 млн м³ песков, добыто порядка 20 т золота.

По данным геологического изучения, характерной особенностью месторождения является преобладание в россыпях золотин

¹ Дорошенко И.В., Башлыкова Т.В. Технологические свойства минералов: справочник для технологов. М.: Теплоэнергетик, 2007. 296 с.

² Справочник по обогащению руд / ред. О.С. Богданова. В 4 т. Т. 1. М.: Недра, 1974. 381 с.

³ Справочник по обогащению руд / ред. О.С. Богданова. В 4 т. Т. 2. М.: Недра, 1974. 382 с.

⁴ Справочник по обогащению руд / ред. О.С. Богданова. В 4 т. Т. 3. М.: Недра, 1974. 373 с.

⁵ Методические рекомендации Научного совета по методам минералогических исследований № 162 «Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленных проб». 22 с.

⁶ Леонов С.Б., Белькова О.Н. Исследования полезных ископаемых на обогатимость: учеб. пособие. М.: Интернет инжиниринг, 2001. 631 с.



мелких и весьма мелких классов крупности (от 40–50 % составляет золото крупностью менее 0,25 мм). Однако отработка песков месторождения проводилась только стандартным способом с использованием шлюзового оборудования, которое способно эффективно уловить золото крупностью до 0,5 мм⁷ [12, 13].

Методы исследования

С целью проведения опытной отработки эфельных отвалов месторождения Юрское с максимальным извлечением мелкого золота в ходе исследования была проведена работа по монтажу и эксплуатации обогатительного комплекса ОКВ-100 производительностью 100 м³/ч по исходным пескам (рис. 1).

Технологическая схема обогатительного комплекса ОКВ-100 заключалась в дезинтеграции и грохочении исходных песков в скруббер-бутаре, где надрешетный класс крупности более 20 мм являлся отвальным и в виде галечника направлялся в отвал. Подрешетный класс крупности менее 20 мм самотеком

поступал на шлюз мелкого наполнения для улавливания крупного золота (сполоск производился один раз в сутки через систему контейнерного съема). Хвосты шлюза мелкого наполнения объединялись в один хвостовой лоток и направлялись на модуль извлечения мелкого золота, где подвергались грохочению по классу 2 мм с выводом в отвал материала крупнее 2 мм и последующим обогащением класса менее 2 мм на винтовых сепараторах. При обогащении на винтовых сепараторах разделение материала, проходящего по винтовому желобу, происходило не только за счет разницы между плотностями пустой породы и минералов тяжелой фракции, но и за счет центробежных сил, которые улучшают процесс извлечения мелких фракций золота в концентрат. Доводка концентратов винтовых сепараторов производилась на концентрационных столах. Схема цепи аппаратов обогатительного комплекса ОКВ-100 представлена на рис. 2.



Рис. 1. Обогатительный комплекс ОКВ-100 на месторождении Юрское
Fig. 1. OKV-100 beneficiation complex (Yurskoye deposit)

⁷ Лавров Н.П., Милентьев В.В. Практическое пособие по эксплуатации промывочных установок и шлихообогатительных фабрик. Магадан: Кордис, 2005. 206 с.

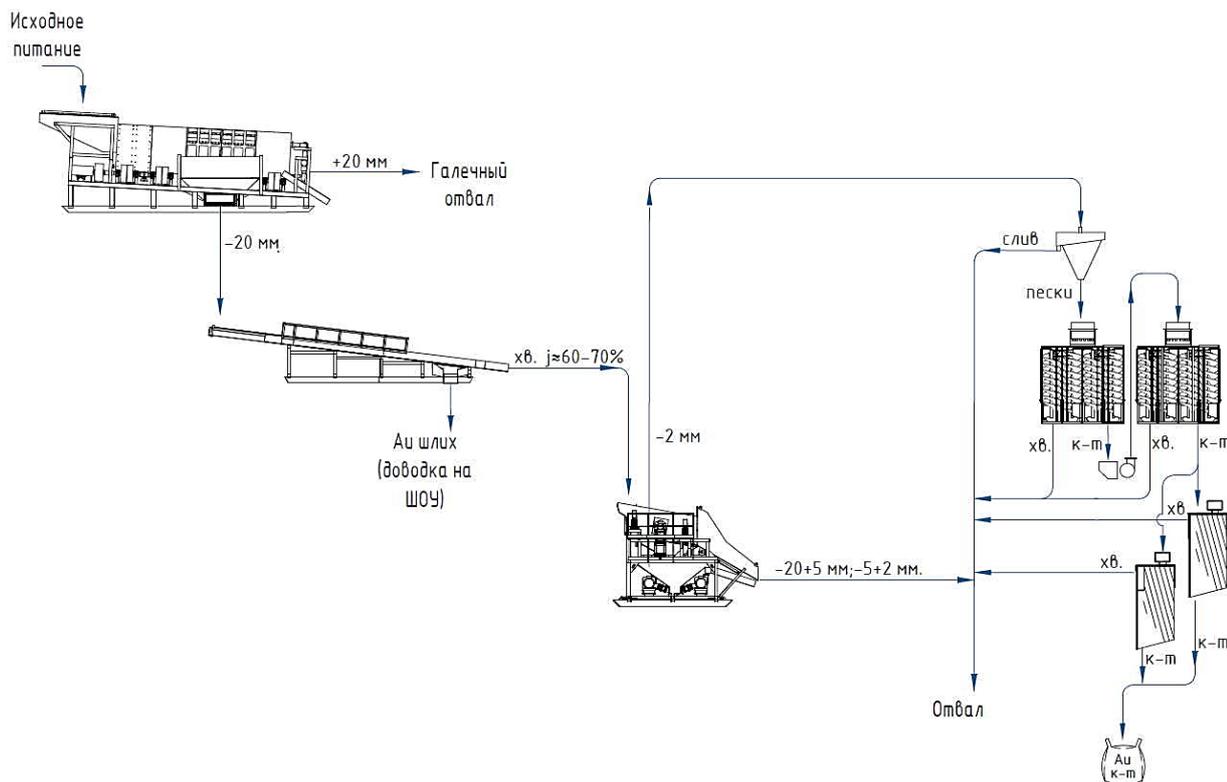


Рис. 2. Схема цепи аппаратов обогатительного комплекса ОКВ-100
Fig. 2. OKV-100 beneficiation complex equipment circuit

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения эффективности технологии переработки было проведено генеральное опробование комплекса, а также гранулометрический анализ золотосодержащих продуктов. На рис. 3. представлена технологическая схема обогатительного комплекса ОКВ-100 с качественно-количественными и водно-шламовыми показателями на момент генерального опробования. Результаты генерального опробования ОКВ-100 представлены в табл. 1.

По результатам анализа гранулометрических характеристик золота шлюзов мелкого наполнения и винтовых сепараторов месторождения Юрское (табл. 2) видно, что основная масса золота (98,07 %) в концентрате шлюзов мелкого наполнения распределяется в классе менее 1 мм, в концентрате узла винтовых сепараторов (90,37 %) – в классе менее 0,5 мм. Распределение золота в классе крупности более 1 мм (1,93 %) свидетельствует о том, что основная масса золота представлена мелкими классами и необходима эффективная технология для его извлечения.

Гранулометрический анализ хвостов обогатительного комплекса ОКВ-100 на месторождении Юрское (табл. 3) показал, что основные потери золота (66,67 %) связаны с труднообогатимым классом крупности менее 40 мкм.

Период эксплуатации ОКВ-100 с момента запуска составил два месяца: с 18 июля по 18 сентября 2020 г. Пески подавались с разных участков техногенного месторождения и имели разное содержание золота, гранулометрические характеристики, минералогический состав. В процессе исследования производились эксперименты при работе на разном исходном питании, оборудование настраивалось под конкретное сырье в зависимости от производительности, соотношения «жидкое / твердое», выхода продуктов модуля извлечения мелкого золота. Производительность комплекса составляла от 90 до 150 м³/ч, съемка золота со шлюзов – от 70 до 500 г/сут., выход золотосодержащего концентрата на модуле извлечения мелкого золота – от 1000–1200 кг/сут. со средним содержанием 80 г/т. Концентрат накапливался в специально подготовленных бочках и перевозился в г. Алдан для гидрометаллургической переработки.

| | | |
|---|---|------|
| Q | j | гв.% |
| B | E | V |

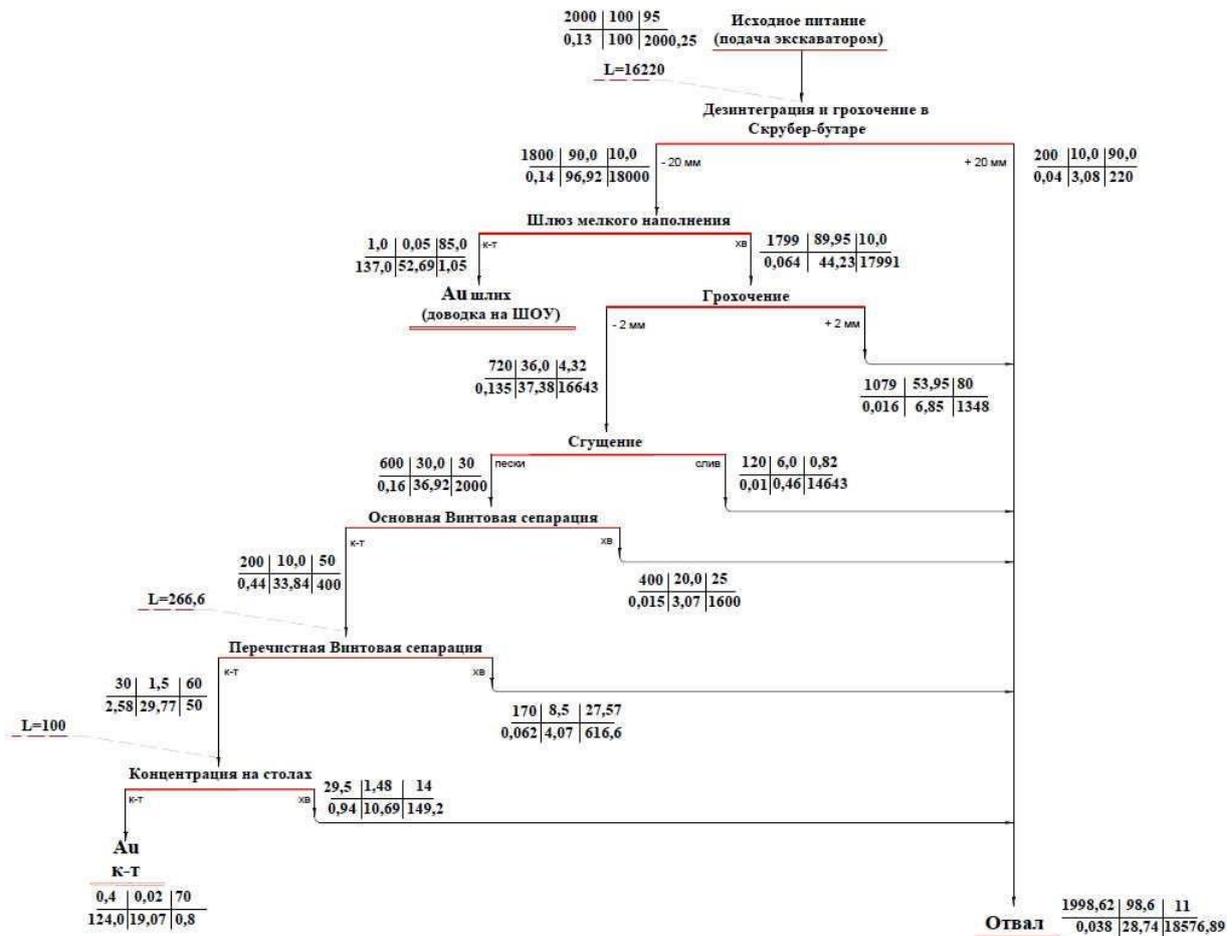


Рис. 3. Технологическая схема обогатительного комплекса ОКВ-100 с качественно-количественными и водно-шламовыми показателями на момент генерального опробования:

Q – производительность, м³/сут.; B – содержание, г/м³; j – выход, %; E – извлечение, %; гв. % – твердое, %; V – объем пульпы, м³/сут.; L – дополнительная вода, м³/сут.

Fig. 3. Process flow diagram of the OKV-100 beneficiation complex with qualitative-quantitative and water-sludge indicators at the time of general testing:

Q – productive capacity, m³/day; B – content, g/m³; j – yield, %; E – extraction, %; гв. % – solid, %; V – pulp volume, m³/day; L – additional water, m³/day

Таблица 1. Результаты генерального опробования обогатительного комплекса ОКВ-100

Table 1. General testing results of the OKV-100 beneficiation complex

| Показатель | Значение |
|---|----------------------------|
| Производительность комплекса по исходным пескам | 100 (2000 м³/сут.) |
| Содержание золота в исходных песках | 0,13 г/м³ |
| Съемка золота со шлюзов мелкого наполнения | 137 г/сут. |
| Выход золотосодержащего концентрата модуля винтовой сепарации | 1,068 т/сут. (0,4 м³/сут.) |
| Содержание золота в концентрате модуля винтовой сепарации | 124 г/м³ |
| Количество золота в концентрате модуля винтовой сепарации | 49,66 г |
| Общее количество золота, извлеченного обогатительным комплексом ОКВ-100 за сутки | 186,66 г |
| Содержание золота в хвостах обогатительного комплекса ОКВ-100 | 0,03 г/т |
| Сквозное извлечение золота в два продукта – съемка со шлюзов мелкого наполнения и концентрат винтовых сепараторов | 71,76 % |
| Распределение золота по продуктам обогатительного комплекса ОКВ-100: | |
| – извлеченного шлюзом мелкого наполнения; | 52,69 % (137 г) |
| – извлеченного на модуле винтовой сепарации | 19,07 % (49,66 г) |



Таблица 2. Гранулометрические характеристики золота шлюзов мелкого наполнения и винтовых сепараторов месторождения Юрское
Table 2. Granulometric characteristics of gold from shallow sluices and spiral separators of the Yurskoye deposit

| Класс крупности, мм | Распределение золота в концентрате шлюза мелкого наполнения, % | Распределение золота в концентрате модуля винтовой сепарации, % |
|---------------------|--|---|
| +2 | 0,48 | – |
| -2+1 | 1,45 | – |
| -1+0,5 | 27,44 | 9,57 |
| -0,5+0,25 | 41,98 | 37,51 |
| -0,25+0 | 28,65 | 52,92 |
| Итого: | 100 | 100 |

Таблица 3. Распределение самородного золота в хвостах обогатительного комплекса ОКВ-100
Table 3. Native gold distribution in OKV-100 beneficiation complex tailings

| Класс крупности, мм | Масса, г | Распределение, % |
|---------------------|----------|------------------|
| -0,25+0,125 | < 0,0001 | – |
| -0,125+0,071 | < 0,0001 | – |
| -0,071+0,04 | 0,0001 | 33,33 |
| -0,04+0 | 0,0002 | 66,67 |
| Итого: | 0,0003 | 100 |

Заключение

Результаты выполненной работы свидетельствуют о высоких возможностях винтовой сепарации при извлечении мелкого золота из россыпных месторождений. Показано, что эта технология может стать основной при массовой отработке техногенных месторождений.

Всего за время опытной отработки:

- переработано песков – 91 тыс. м³;
- получено химически чистого золота (золота квалификации «х.ч.») (сполоск шлюзов мелкого наполнения) – 9059 г;
- получено концентрата винтовой сепарации – 31 т;
- среднее содержание золота в концентрате винтовой сепарации – 80 г/т;
- получено химически чистого золота в концентрате винтовой сепарации – 2480 г;

– соотношение полученного химически чистого золота со шлюзов мелкого наполнения к золоту винтовой сепарации – 78,5 % / 21,49 %;

Суммарно на ОКВ-100 получено 11539 г химически чистого золота.

В результате опытной промывки с применением технологии извлечения мелкого золота среднее доизвлечение золота из хвостов шлюзов составило 19,07 %, что является высоким показателем, если учитывать невысокие содержания золота в техногенных россыпях. Данная технология может применяться для отработки как техногенных, так и эксплуатируемых россыпных месторождений золота. Полученный золотосодержащий концентрат возможно перерабатывать и гидрометаллургическим, и гравитационным методом.

Список литературы

1. Соломин К.В. Обогащение песков россыпных месторождений полезных ископаемых. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1961. 399 с.
2. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения / пер. с англ. М.: Недра, 1974. 572 с.
3. Замятин О.В., Лопатин А.Г., Санникова Н.Г., Чугунов А.Д. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов. М.: Недра, 1975. 262 с.
4. Шило Н.А. Основы учения о россыпях. М.: Наука, 1985. 400 с.
5. Петровская Н.В. Самородное золото: общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М.: Наука, 1973. 347 с.
6. Litvintsev V.S. Rational development of noble metal placer mining waste in the east of Russia // Journal of Mining Science. 2015. Vol. 51. P. 118–123. <https://doi.org/10.1134/S1062739115010159>
7. Litvintsev V.S., Banshchikova T.S., Leonenko N.A., Alekseev V.S. Effective methods for gold recovery from mining wastes at placers // Journal of Mining Science. 2012. Vol. 48. P. 198–202. <https://doi.org/10.1134/S1062739148010224>

8. Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G. Forward appraisal of potential gold content of dredge and sluice tailings dumps at placers in Russia's Far East // *Journal of Mining Science*. 2020. Vol. 56. P. 259–267. <https://doi.org/10.1134/S1062739120026733>
9. Parkhurst D.W. Gold recovery in placer mining // *Californian Mining Journal*. 1998. April. P. 11–14.
10. Cristovici M.A. Recovery of gold from ore tailing ponds // *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*. 1986. Vol. 79. P. 27–33.

11. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. М.: Недра, 1974. 248 с.
12. Иванов В.Д., Прокопьев С.А. Винтовые аппараты для обогащения руд и россыпей в России. М.: Дакси, 2000. 239 с.
13. Соломин К.В., Федоров О.В. Обогащение золото- и платиносодержащих песков на винтовых сепараторах // *Труды Иргиредмета*. № 7. М.: Металлургиздат, 1958. С. 164–170.

References

1. Solomin KV. *Beneficiation of mineral placer deposit sands*. Moscow: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo literatury po gornomu delu; 1961. 399 p. (In Russ.)
2. Bert RO. *Gravity concentration technology*; 1974. 572 p. (Russ. ed.: *Tekhnologiya gravitatsionnogo obogashcheniya*. Moscow: Nedra; 1974. 572 p.).
3. Zamyatin OV, Lopatin AG, Sannikova NG, Chugunov AD. *Concentration of gold sands and conglomerates*. Moscow: Nedra; 1975. 262 p. (In Russ.)
4. Shilo NA. *Fundamentals of the theory of placers*. Moscow: Nauka; 1985. 400 p. (In Russ.)
5. Petrovskaya NV. *Native gold: general characteristics, typomorphism, genesis issues*. Moscow: Nauka; 1973. 347 p. (In Russ.)
6. Litvintsev VS. Rational development of noble metal placer mining waste in the east of Russia. *Journal of Mining Science*. 2015;51:118–123. <https://doi.org/10.1134/S1062739115010159>
7. Litvintsev VS, Banshchikova TS, Leonenko NA, Alekseev VS. Effective methods for gold recovery from mining wastes at placers. *Journal of Mining Science*. 2012;48:198–202. <https://doi.org/10.1134/S1062739148010224>
8. Mirzekhanov GS, Mirzekhanova ZG. Forward appraisal of potential gold content of dredge and sluice tailings dumps at placers in Russia's Far East. *Journal of Mining Science*. 2020;56:259–267. <https://doi.org/10.1134/S1062739120026733>
9. Parkhurst DW. Gold recovery in placer mining. *Californian Mining Journal*. 1998:11–14.
10. Cristovici MA. Recovery of gold from ore tailing ponds. *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*. 1986;79:27–33.
11. Lodochnikov VN. *Major rock-forming minerals*. Moscow: Nedra; 1974. 248 p. (In Russ.)
12. Ivanov VD, Prokop'ev SA. *Screw separators for ore and placer mining in Russia*. Moscow: Daksi; 2000. 239 p. (In Russ.)
13. Solomin KV, Fedorov OV. Gold- and platinum-bearing sand concentration on spiral separators. In: *Trudy Irgiredmeta = Irgiredmet Proceedings*. Iss. 7. Moscow: Metallurgizdat; 1958. p.164–170. (In Russ.)

Сведения об авторах / Information about the authors



Прокопьев Сергей Амперович,

кандидат технических наук,
начальник отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
ведущий инженер
Иркутский научный центр СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия,
директор по стратегическому развитию,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: psa@spirit-irk.ru

Sergey A. Prokopiev, Cand. Sci. (Eng.),

Head of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Leading Engineer,
Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
134 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Strategic Development Director,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: psa@spirit-irk.ru



Прокопьев Евгений Сергеевич,

ведущий инженер отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
ведущий инженер,
Иркутский научный центр СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия,
директор по технологиям и инновациям,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: pes@spirit-irk.ru

Evgeniy S. Prokopyev,

Leading Engineer of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Leading Engineer,
Irkutsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
134 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Director of Technology and Innovation,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: pes@spirit-irk.ru



Кадесников Игорь Владимирович,

инженер отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
руководитель группы обогащения россыпей,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: kiv@spirit-irk.ru

Igor V. Kadesnikov,

Engineer of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Leader of the Placer Beneficiation Group,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: kiv@spirit-irk.ru



Черимичкина Наталья Александровна,

кандидат химических наук,
инженер отдела комплексного использования минерального сырья,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
заведующая группой гидрометаллургии,
ООО ПК «Спирит»,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
✉ e-mail: sna@spirit-irk.ru

Natalia A. Cherimichkina,

Cand. Sci. (Chemistry),
Engineer of the Department of Integrated Use of Mineral Raw Materials,
Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
Head of the Hydrometallurgy Group,
LLC PC Spirit,
128 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,
✉ e-mail: sna@spirit-irk.ru



Заявленный вклад авторов / Contribution of the authors

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 23.09.2020; одобрена после рецензирования 20.10.2020; принята к публикации 25.11.2020.

The article was submitted 23.09.2020; approved after reviewing 20.10.2020; accepted for publication 25.11.2020.