

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научная статья

УДК 553.411+553.068.5+622.271.1

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-222-234>**Анализ минерально-сырьевой базы золотодобычи
в Ленском золотоносном районе и обоснование
направлений развития способов разработки россыпей****Егор Алексеевич Дорош^а, Борис Леонидович Тальгамер^б**^аООО «СибЗолото» г. Иркутск, Россия^бИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дорош Егор Алексеевич, egordoros3@gmail.com

Резюме. Развитие золотодобывающей отрасли связано в первую очередь с наращиванием минерально-сырьевой базы, освоением перспективных месторождений, повышением качества сырья. Вместе с тем на протяжении многих лет специалистами отмечается ухудшение качества запасов россыпного золота как в России в целом, так и в Восточной Сибири в частности. В связи с этим целью настоящего исследования был выбран анализ динамики минерально-сырьевой базы золотодобычи в Ленском золотоносном районе, а также обоснование направления развития технологии разработки россыпей. В ходе работы проведена оценка состояния минерально-сырьевой базы золотодобывающей промышленности Иркутской области в период с 2000 по 2021 г., составлена количественная и качественная характеристика запасов россыпного золота, определены ключевые изменения, произошедшие в эксплуатации россыпей за последние 20 лет. При этом обозначена динамика ухудшения качества запасов россыпного золота и указаны причины этого ухудшения за анализируемый период. Кроме того, дана краткая характеристика основных горнотехнических показателей отработанных за последнее время крупных и средних месторождений россыпного золота и представлена структура распределения запасов в техногенных месторождениях. В заключении сформулированы выводы по итогам проделанной работы, а также озвучены актуальные проблемы современной россыпной золотодобычи, оценены ее перспективы в Иркутской области. Представлены возможности пополнения минерально-сырьевой базы за счет вовлечения в разработку техногенных запасов.

Ключевые слова: золотодобывающая промышленность, россыпные месторождения, минерально-сырьевая база, горнотехнические параметры, техногенные месторождения, проблемы россыпной золотодобычи

Для цитирования: Дорош Е. А., Тальгамер Б. Л. Анализ минерально-сырьевой базы золотодобычи в Ленском золотоносном районе и обоснование направлений развития способов разработки россыпей // Науки о Земле и недропользование. 2022. Т. 45. № 3. С. 222–234. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-222-234>.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF MINERAL DEPOSITS

Original article

**Analysis of the mineral resource base of gold mining
in the Lena gold-bearing district and substantiation
of the development directions of placer mining methods****Egor A. Dorosh^а, Boris L. Talgamer^б**^аSibZoloto LLC, Irkutsk, Russia^бIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Egor A. Dorosh, egordoros3@gmail.com

Abstract. Development of the gold mining industry is in the first place associated with an increase in the mineral resource base, development of promising deposits and improvement in the quality of raw materials. At the same time, experts have



been noting a deterioration in the quality of alluvial gold reserves over the last years both in Russia as a whole and in Eastern Siberia in particular. Therefore, the purpose of this research is to analyze the dynamics of the mineral resource base of gold mining in the Lena gold-bearing area as well as to substantiate the development trends of the placer development technology. The assessment was given to the state of the mineral resource base of the gold mining industry of the Irkutsk region in the period from 2000 to 2021. A quantitative and qualitative characteristic of alluvial gold reserves was provided with identified key changes caused by placer mining over the past 20 years. Having indicated the deterioration dynamics in the quality of alluvial gold reserves, the authors specified its reasons for the period under analysis. In addition, a brief description of the main mining and engineering indicators of the large and medium-sized alluvial gold deposits worked out in recent years is given. The distribution structure of reserves in technogenic deposits is presented. The conclusions are formulated on the results of the research performed, relevant problems of modern placer gold mining are formulated and the prospects of placer mining in the Irkutsk region are assessed. The replenishing possibilities of the mineral resource base by involving technogenic reserves in the development are described.

Keywords: gold mining industry, placer deposits, mineral resource base, mining-engineering parameters, technogenic deposits, problems of alluvial gold mining

For citation: Dorosh E. A., Talgamer B. L. Analysis of the mineral resource base of gold mining in the Lena gold-bearing district and substantiation of the development directions of placer mining methods. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2022;45(3):222-234. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2022-45-3-222-234>.

Введение

Иркутская область является одним из наиболее богатых регионов не только в России, но и во всем мире по запасам золота, которое добывается здесь с 1840-х гг.¹. Государственным балансом на территории Иркутской области по состоянию на 1 января 2021 г. учитывается 395 месторождений золота с балансовыми запасами категорий А+В+С₁ в количестве 1641 т, категории С₂ – 971 т и забалансовыми запасами – 860 т². Область занимает первое место по прогнозным ресурсам категории Р₁, количество которых составляет 1597 т или 29 % прогнозных ресурсов России [1].

Основа минерально-сырьевой базы представлена коренными золоторудными месторождениями. В 28 коренных месторождениях золота запасы категорий А+В+С₁ насчитывают 1572 т (95,8 % от запасов области), категории С₂ – 925 т, забалансовые запасы – 830 т³.

По балансовым запасам россыпного золота Иркутская область находится в числе лидеров среди регионов Российской Федерации. В 366 россыпных месторождениях золота сосредоточено 69,3 т запасов категорий А+В+С₁ (4,2 % от запасов области), 39,4 т запасов категории С₂ и 30,9 т забалансовых запасов⁴.

Уровень добычи золота из коренных месторождений стабильно увеличивается – данная тенденция отражена на графиках, представленных на рис. 1. Если в 1999 г. добыча золота из коренных месторождений не осуществлялась, то в последний отчетный период (2020 г.) было извлечено 20,3 т золота (65,7 %). Добыча золота из россыпных месторождений за этот период находилась на уровне 12,8–10,6 т (в 1999 и 2020 г. соответственно)⁵.

Материалы и методы исследования

В ходе исследования были рассмотрены возможности пополнения минерально-сырьевой базы россыпной золотодобычи в Ленском золотоносном районе и обосновано направление развития способов разработки россыпей. При написании работы были использованы материалы Сибирского отделения ФГБУ «Росгеолфонд» и данные об эксплуатации россыпей в объединении «Лензолото». На основе указанных материалов проведен анализ динамики объемов и качества запасов, а также горнотехнических условий их залегания, способов и технологий разработки россыпей за последние 20 лет.

¹ Лешков В. Г. Разработка россыпных месторождений: учебник для вузов. М.: Горная книга – Изд-во МГТУ, 2007. 906 с.

² Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2021 года. Вып. 29. Золото. Т. 7. Сибирский Федеральный округ. Ч. 6. Иркутская область. М., 2021. 268 с. Инв. № 2655Б.

³ Там же.

⁴ Там же.

⁵ Там же.

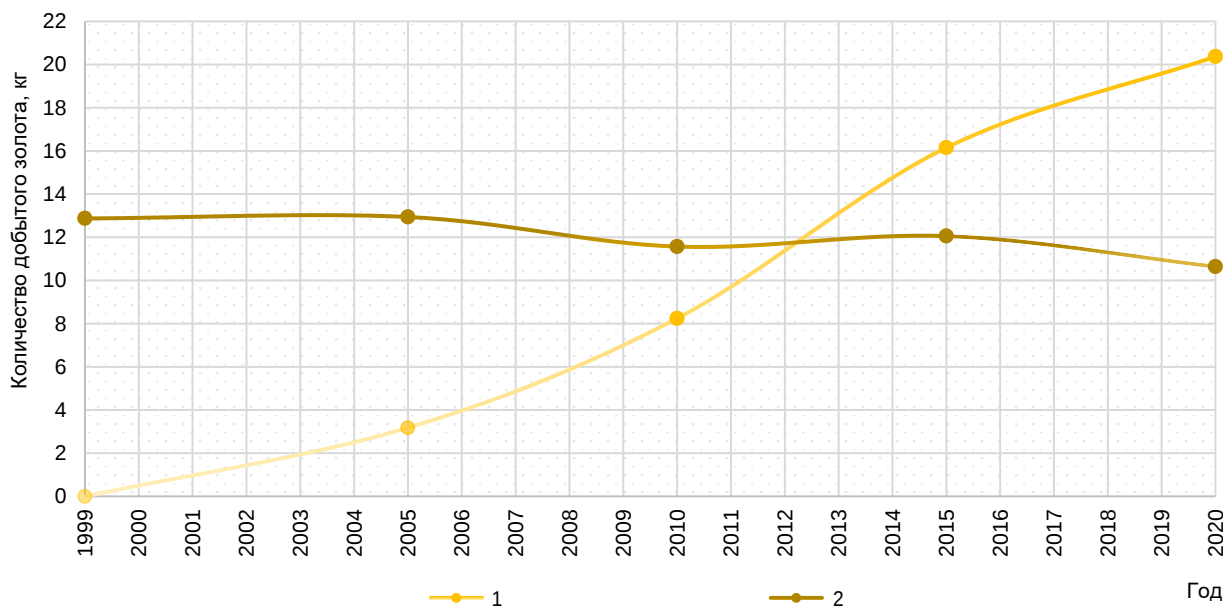


Рис. 1. Динамика добычи золота из коренных и россыпных месторождений в Иркутской области за 21 год (период с 1999 по 2020 г.):
1 – добыча из коренных месторождений; 2 – добыча из россыпных месторождений
Fig. 1. Dynamics of gold mining from primary and alluvial deposits in the Irkutsk region for 21 years (1999–2020):
1 – primary gold mining; 2 – placer mining

Результаты исследования и их обсуждение

Пик россыпной золотодобычи в Иркутской области пришелся на 1960–1980 гг. и был связан с внедрением, развитием и широким применением дражного способа разработки. В начале 1970-х гг. драгами добывалось почти три четверти золота (73 %) [2]. На современном этапе золотодобычи большая часть запасов россыпного золота Иркутской области отработывается открытым раздельным способом (86 %) [3]. Подземный и гидравлический способы разработки россыпей в нашем регионе в настоящее время практически не используются.

Для анализа структуры минерально-сырьевой базы россыпного золота с использованием данных государственных балансов запав

сов полезных ископаемых Иркутской области по золоту^{6–10} построены графики, отображенные на рис. 2–4.

Из представленного на рис. 2 графика следует, что за анализируемый период доля детально разведанных запасов категорий А+В+С₁ уменьшилась для дражного способа на 23,9 %, для гидравлического способа на 94,7 %, для открытого – на 34,5 %, для подземного – на 20,1 %. Данный факт связан с тем, что «срабатывание» высококатегорийных запасов существенно опережает их прирост. Происходит это по многим причинам, основными из которых являются естественное ухудшение минерально-сырьевой базы и отсутствие финансирования геолого-разведочных работ государством.

⁶ Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2021 года. Вып. 29. Золото. Т. 7. Сибирский Федеральный округ. Ч. 6. Иркутская область. М., 2021. 268 с. Инв. № 2655Б.

⁷ Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2000 года. Вып. 72. Золото. Т. 3. Восточно-Сибирский регион. Иркутская область. М., 2000. 181 с. Инв. № 728Б.

⁸ Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2006 года. Вып. 29. Золото. Т. 6. Сибирский Федеральный округ. Ч. 6. Иркутская область. М., 2006. 206 с. Инв. № 1875Б.

⁹ Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2011 года. Вып. 29. Золото. Т. 6. Сибирский Федеральный округ. Ч. 6. Иркутская область. М., 2011. 218 с. Инв. № 2118Б.

¹⁰ Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2016 года. Вып. 29. Золото. Т. 7. Сибирский Федеральный округ. Ч. 6. Иркутская область. М., 2011. 328 с. Инв. № 2381Б.

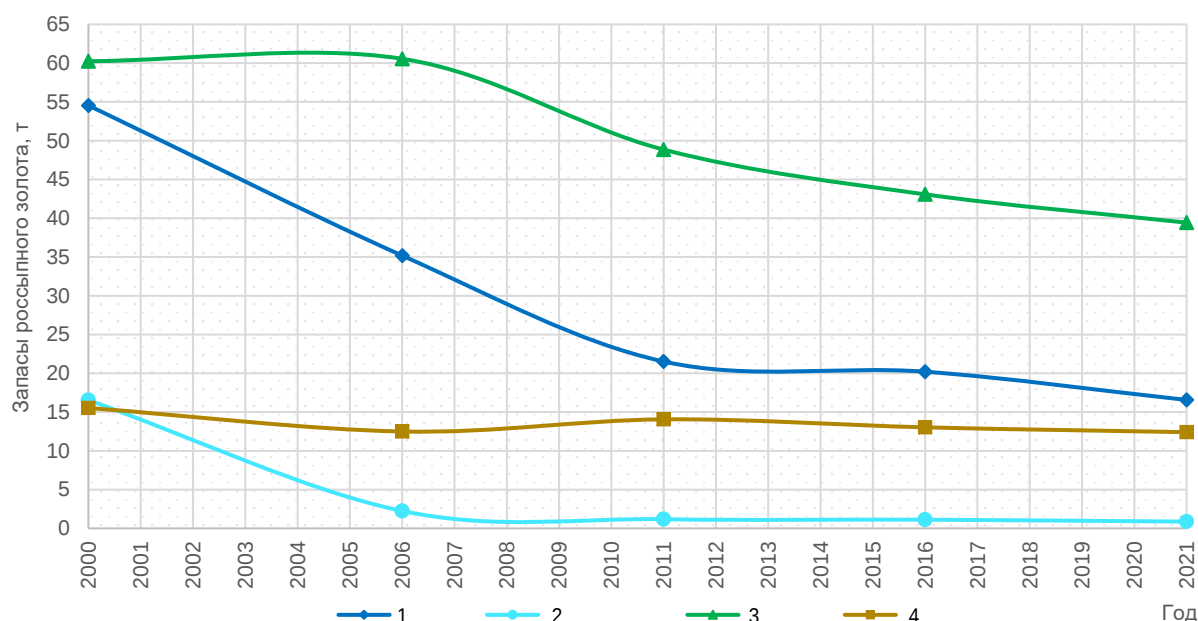


Рис. 2. Движение запасов россыпного золота категорий A+B+C₁ Иркутской области для различных способов добычи в период с 2000 по 2021 г.:

1 – дражный; 2 – гидравлический; 3 – открытый; 4 – подземный

Fig. 2. Movement of alluvial gold reserves of A+B+C₁ categories in the Irkutsk region for various mining methods for the period from 2000 to 2021:

1 – drag; 2 – hydraulic; 3 – open; 4 – underground

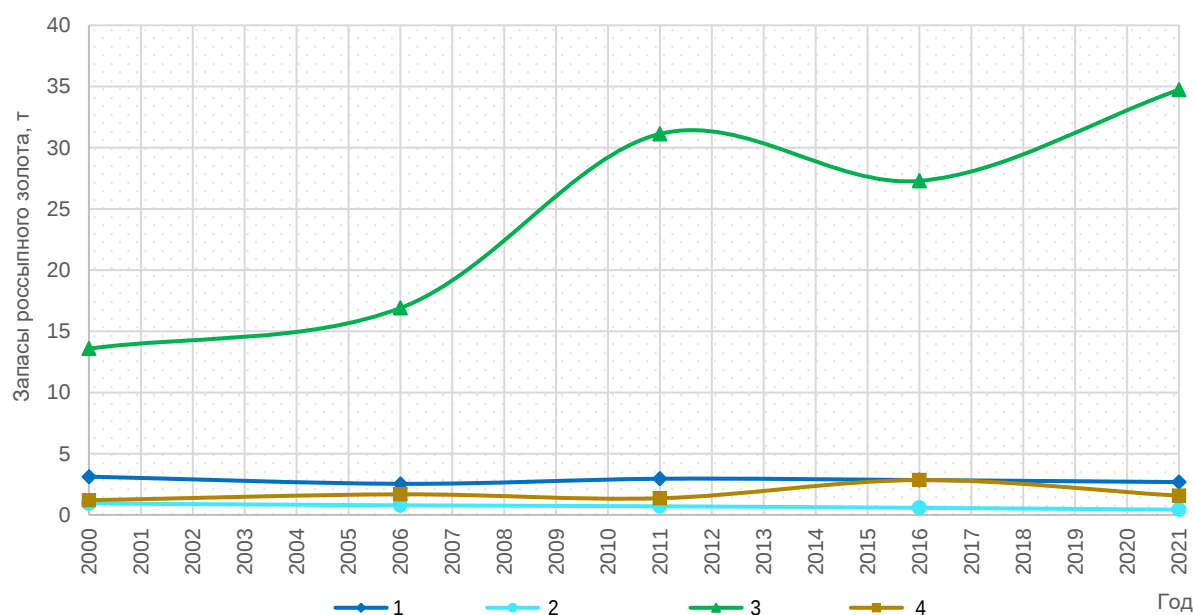


Рис. 3. Движение запасов россыпного золота категории C₂ Иркутской области для различных способов добычи в период с 2000 по 2021 г.:

1 – дражный; 2 – гидравлический; 3 – открытый; 4 – подземный

Fig. 3. Movement of alluvial gold reserves of C₂ category in the Irkutsk region for various mining methods for the period from 2000 to 2021:

1 – drag; 2 – hydraulic; 3 – open; 4 – underground

В свою очередь, из рис. 3 следует, что доля низкатегорийных запасов категории C₂ для дражного, гидравлического и подземного способов за этот период значительно не изме-

нилась. Из общего ряда выбивается открытый раздельный способ, запасы для которого по данной категории за представленный период выросли на 155 % и составляют на сегодняш-

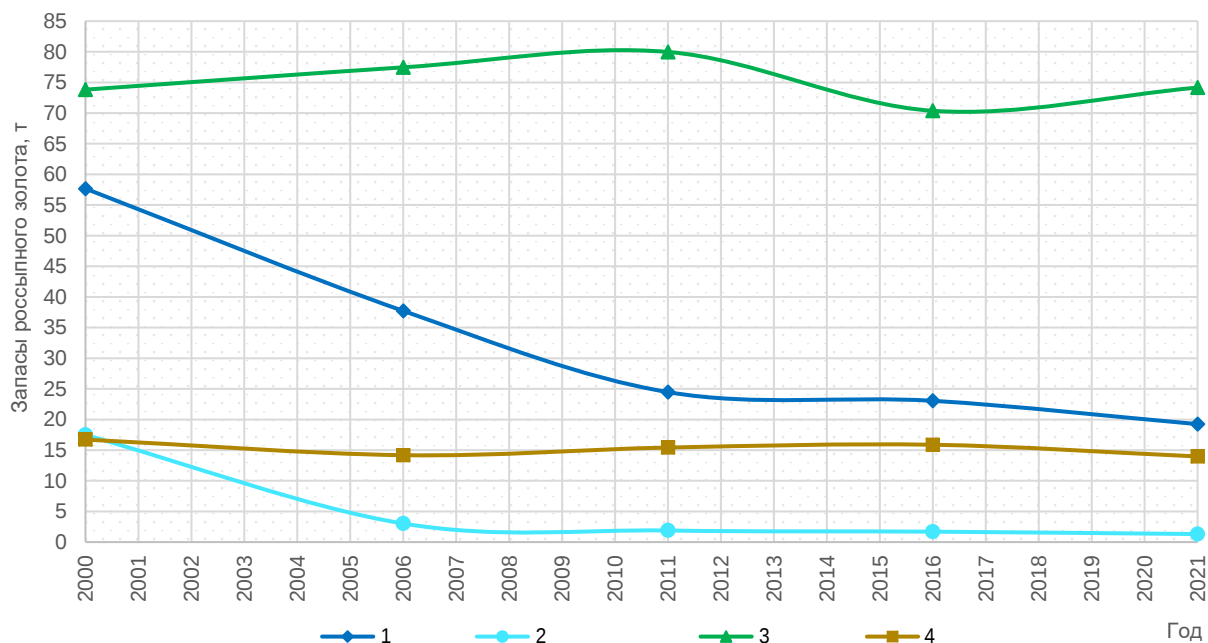


Рис. 4. Движение запасов россыпного золота категорий A+B+C₁+C₂ Иркутской области для различных способов добычи в период с 2000 по 2021 г.:

1 – дражный; 2 – гидравлический; 3 – открытый; 4 – подземный

Fig. 4. Movement of alluvial gold reserves of A+B+C₁+C₂ categories in the Irkutsk region for various mining methods for the period from 2000 to 2021:

1 – drag; 2 – hydraulic; 3 – open; 4 – underground

ний день 34,7 т (88 %). Связано это в первую очередь с тем, что большая часть россыпного золота добывается открытым раздельным способом, соответственно, и большая часть приращиваемых запасов приходится на этот способ. Как правило, новые месторождения по сложности геологического строения (в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов РФ № 278¹¹) относятся к третьей и четвертой категориям. Особенности строения месторождений этих категорий определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий C₁ и C₂ для третьей категории и C₂ для четвертой категории.

Из рис. 4 видно, что доля запасов россыпного золота категорий A+B+C₁+C₂ постепенно уменьшается для дражного (на 66,6 %) и гидравлического (на 92,8 %) способов добычи, а для открытого и подземного способов находится на одном уровне. Уменьшение доли дражных запасов связано в первую очередь с их отработкой. Также наблюдаются тенденции к переоценке запасов для гидравличе-

ского и дражного способов добычи с переводом их в разработку открытым раздельным способом. Запасы для подземного способа за представленный период значительных изменений не претерпели ввиду трудоемкости их освоения. Запасы для открытого раздельного способа за представленный период находятся примерно на одном уровне, сохраняя «здоровый» баланс между добычей и приростом. Уровень «срабатывания» запасов сопоставим с уровнем их прироста, и происходит это в основном за счет низкокатегорийных запасов категории C₂ (46,8 %).

Горнотехнические условия россыпных месторождений Ленского золотоносного района не являются благоприятными. Особо тяжелыми условиями разработки отличаются многолетнемерзлые, валунистые, труднопромысловые глинистые россыпи, а также россыпи с большой глубиной залегания запасов (погребенные россыпи), сильно обводненные и содержащие мелкое и тонкое золото.

¹¹ Об утверждении Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: приказ Министерства природных ресурсов РФ от 11 декабря 2006 г. № 278 // Гарант: информационно-правовой портал [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12151221/> (20.01.2022).



Наличие в разрабатываемых породах многолетней мерзлоты весьма негативно влияет на все производственные процессы. Сведения, отражающие пораженность запасов многолетней мерзлотой, приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что большая часть запасов в Бодайбинском районе поражена многолетней мерзлотой. Наличие мерзлоты замедляет производственный процесс разработки из-за необходимости оттайки пород перед их разработкой. Многолетнемерзлый грунт является тяжелым испытанием для горной техники и значительно снижает ресурс рабочего оборудования (ковшей экскаваторов, ножей и рыхлителей бульдозеров).

Особо тяжелыми условиями разработки отличаются сложноструктурные валунистые россыпи с повышенной сцементированностью и крепостью пород. По промышленной оценке сырьевой базы Бодайбинских россыпных месторождений, выполненной в 1981 г. Иркутским научно-исследовательским институтом благородных и редких металлов и алмазов, к сильновалунистым отложениям (с содержанием валунов фракции более 200 мм свыше 10 %) относится около 70 % всех запасов россыпей.

Накопленный опыт разработки таких месторождений показал, что сильная валунистость отложений существенно осложняет основные технологические процессы, делая их более трудоемкими¹².

Значительное влияние на эффект разработки россыпей оказывает поромывистость и обогатимость песков. Промывистость золотоносных пород в значительной мере зависит от степени цементации вязкими материалами (обычно пластичными глинами) (табл. 2).

Из табл. 2 следует, что в целом золотоносные пески в Бодайбинском районе промывистые (77 %). Тем не менее здесь встречаются россыпи труднопромывистые (8,3 %) и непромывистые (4,6 %) с повышенной глинистостью.

Важнейшим показателем также является глубина залегания запасов. История разработки Ленских россыпей насчитывает более 170 лет эксплуатации. По мере развития инфраструктуры в первую очередь разрабатывались россыпи с небольшими глубинами залегания запасов. Данные о глубинах месторождений россыпного золота, отработанных в период с 1931 по 1999 г., представлены в виде круговой диаграммы (рис. 5)¹³.

Таблица 1. Пораженность запасов россыпей Бодайбинского района многолетней мерзлотой¹⁴
Table 1. Permafrost in the Bodaibo district placer reserves¹⁴

Доля мерзлоты, %	Количество россыпей, шт.	Количество запасов, %
Менее 10	44	22
10–20	11	5,5
20–40	24	12
40–60	31	15,5
60–80	18	9
Более 80	73	36

Таблица 2. Степень промывистости песков в россыпях Бодайбинского района¹⁵
Table 2. The degree of sand washability in the Bodaibo region placers¹⁵

Категория пород по промывистости	Количество россыпей		Содержание пластичной глины, %
	Шт.	Отн. %	
Легкопромывистые	18	9,26	Менее 10
Промывистые	151	77,8	10–15
Труднопромывистые	16	8,24	Более 15
Непромывистые	9	4,6	–

¹² Кудряшов Е. В. Изыскание эффективной технологии дражной разработки валунистых россыпей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03. Иркутск, 1996. 19 с.

¹³ Коткин В. В., Тищенко Е. И. Прогнозно-поисковые работы по оценке прогнозных ресурсов техногенных отвалов, россыпей с тонким и мелким золотом с составлением карты золотоносности Ленского горнопромышленного района (Ленский объект): отчет по Государственному контракту №111-120. Иркутск, 2008. 546 с. Инв. № 17315.

¹⁴ Там же.

¹⁵ Там же.

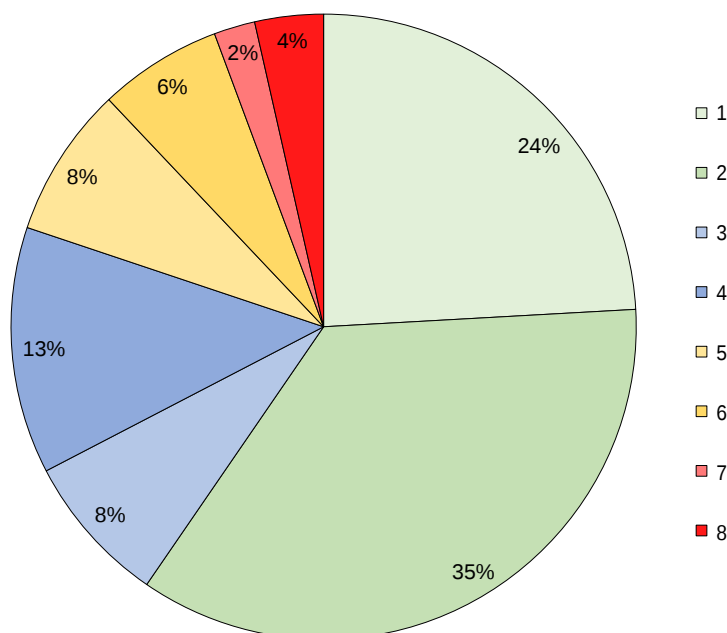


Рис. 5. Распределение россыпей, отработанных в период с 1931 по 1999 г., по глубине залегания запасов:

1 – до 5 м; 2 – 5–10 м; 3 – 10–15 м; 4 – 15–20 м; 5 – 20–25 м; 6 – 25–30 м; 7 – 30–35 м; 8 – свыше 35 м

Fig. 5. Distribution of abandoned placers developed in the period from 1931 to 1999 by the reserve depth:

1 – up to 5 m; 2 – 5–10 m; 3 – 10–15 m; 4 – 15–20 m; 5 – 20–25 m; 6 – 25–30 m; 7 – 30–35 m; 8 – over 35 m

Глубина залегания запасов средних и крупных россыпных месторождений, отработанных в период с 1931 по 1999 г., составила в среднем 12,5 м. Небольшую глубину залегания (до 10 м) имели 59,9 % разработанных в указанный период месторождений. Небольшие глубины залегания запасов имели такие богатейшие россыпи по р. Хомолхо (7,8 м), Большой Баллаганах (5,8 м), Бульбухта (4,5 м), Таймендра (5,1 м). Среднюю глубину залегания запасов (от 10 до 20 м) имели 20,4 % месторождений, в том числе богатейшие россыпи по р. Ныгри (15 м), Вача (12,8 м), Угахан (18 м). К глубоким и сверхглубоким россыпям (свыше 20 м) в указанный период относились 19,7 % месторождений, в том числе богатейшие россыпи по р. Бодайбо (15–33,5 м), Маракан (35 м), Большой Чанчик (21,2 м), Камустяг (25 м), Тахтыкан-Берикан (60 м). Как показывает практика, наиболее богатыми оказываются глубокие (древние погребенные) россыпи и, если провести анализ с учетом добытых из недр запасов, можно выявить, что большая часть золота была добыта как раз из глубоких месторождений. Из вышеизложен-

ного следует, что добыча золота с Бодайбинском районе связана с необходимостью выполнения значительных объемов вскрышных работ.

Ухудшение минерально-сырьевой базы связано также с падением содержания золота в запасах – данный показатель представлен на рис. 6¹⁶. Вместе с тем следует отметить, что снижение содержания золота в песках за последние полвека происходило гораздо медленнее, чем прогнозировалось специалистами.

Из рис. 6 следует, что среднее содержание начало уменьшаться только с 2011 г., а до этого момента этот показатель даже повышался, что было связано в первую очередь с уменьшением доли дражных запасов (см. рис. 4), в которых среднее содержание практически в 3–5 раз меньше, чем в запасах для открытого раздельного способа.

Далее обратимся к рассмотрению структуры, качества и количества техногенных россыпей и их роли в золотодобыче Иркутской области. Добыча россыпного золота в Иркутской области имеет богатую историю, начавшуюся еще в дореволюционный период. За этот

¹⁶ Коткин В. В., Тищенко Е. И. Прогнозно-поисковые работы по оценке прогнозных ресурсов техногенных отвалов, россыпей с тонким и мелким золотом с составлением карты золотоносности Ленского горнопромышленного района (Ленский объект): отчет по Государственному контракту №111-120. Иркутск, 2008. 546 с. Инв. № 17315.

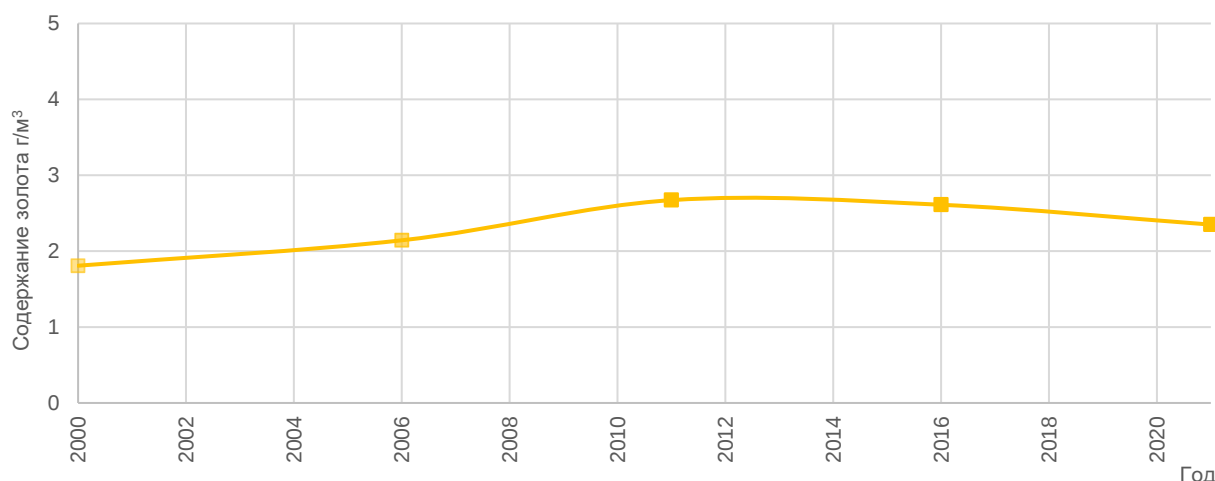


Рис. 6. Изменение среднего содержания золота в песках в период с 2000 по 2021 г.

Fig. 6. Variation of average grade of gold in sands from 2000 to 2021

период различными способами (мускульным, гидравлическим, подземным, дражным, открытым раздельным) были отработаны сотни месторождений. Результатами отработки предшественников помимо добытого золота оказалось возникновение многочисленных техногенных месторождений. Причиной появления таких месторождений послужили потери, возникающие в процессе их разработки. Именно техногенные месторождения таят в себе большой потенциал для поддержания россыпной золотодобычи на современном этапе и могут значительно пополнить имеющуюся минерально-сырьевую базу.

Впервые понятие «техногенная россыпь» для россыпей с промышленной концентрацией полезного компонента, возникающих в результате потерь в процессе их первичной отработки, было применено Н. А. Шило (1958). Он ввел это понятие в единую генетическую классификацию россыпей, выделив генетический, морфологический и возрастной ряды совокупности остаточно-целикового и отвального комплексов. Следует заметить, что в настоящее время наиболее распространено расширенное толкование термина «техногенная россыпь», по которому к техногенным запасам относятся остаточно-целиковые и отвальные их разновидности.

Золотоносность техногенной россыпи напрямую связана с количеством потерь, воз-

никающих в результате ее предыдущих разработок.

Качество техногенной россыпи зависит от многих факторов. Основным из них являются первоначальные потери. Чем больше потерь возникало во время предыдущих работ, тем богаче техногенная россыпь.

Потери золота при отработке россыпных месторождений складываются из трех крупных блоков:

- потери при промывке песков (технологические);
- потери при вскрышных работах;
- потери в недрах при неполной отработке россыпей (эксплуатационные потери)¹⁷.

К основным факторам, определяющим потери при промывке песков, большинство исследователей относит гранулометрию и морфологию металла, промывистость песков, применяемые при промывке технические средства. В отдельных случаях на технологические потери заметное влияние оказывает мерзлота. При данных обстоятельствах техногенная россыпь представлена галечными и эфельными отвалами, оставшимися после промывки.

Потери при вскрышных работах возникают при удалении торфов, лежащих на кровле пласта, а также на россыпях, в которых преобладают рассредоточенный и пропластовый типы распределения золота в вертикальном

¹⁷ Коткин В. В., Тищенко Е. И. Прогнозно-поисковые работы по оценке прогнозных ресурсов техногенных отвалов, россыпей с тонким и мелким золотом с составлением карты золотоносности Ленского горнопромышленного района (Ленский объект): отчет по Государственному контракту №111-120. Иркутск, 2008. 546 с. Инв. № 17315.



разрезах. В этих случаях техногенная россыпь представлена вскрышными отвалами, которые нередко могут быть интересны для повторной переработки.

На потери в недрах, возникающие при неполной отработке россыпей (эксплуатационные потери), влияет множество факторов: характер плотика и глубина проникновения в него металла; охват песков многолетней мерзлотой и способность их к оттаиванию; техническая оснащенность предприятий золотодобычи; наличие эксплуатационной разведки; использованные при подсчете запасов кондиции; мощность торфов и глубина вскрыши; степень выдержанности россыпи; интенсивность притока воды в карьер и полнота осушения отложений; качество разведочных работ. Перечисленные факторы приводят к недоработке целиковой россыпи и возникновению техногенной россыпи остаточного целикового типа, запасы которой могут быть локализованы в бортовых целиках, плотике, а также отдельных участков долины (которые не были достаточно разведаны или были недоработаны).

Для оценки количества техногенных образований обратимся к материалам отчета В. В. Коткина и Е. А. Тищенко «Прогнозно-поисковые работы по оценке прогнозных ресурсов техногенных отвалов, россыпей с тонким и мелким золотом с составлением карты золотоносности Ленского горнопромышленного района (Ленский объект)»¹⁸, выполненного в ФГУНПП «Иркутскгеофизика» в 2008 г. Авторами отчета была проделана монументальная работа, в результате которой разработана методика оценки прогнозных ресурсов техногенного комплекса Ленского золотоносного района.

Из данных отчета¹⁹ следует, что большая часть прогнозных ресурсов приходится на гале-эфельные отвалы (76,5 т, 47 %) и на остаточную целиковую россыпь (72,7 т, 44 %), а меньшее количество – на вскрышные отвалы (15,4 т, 9 %), основная часть которых не представляет интереса для разработки.

С учетом прогнозных ресурсов количество запасов в техногенных россыпях Иркутской области может достигнуть 257,9 т, то есть увеличиться на 137 %. Если учесть, что эти запасы будут эксплуатироваться дражным или открытым раздельным способом, то прирост запасов для этих способов составит 160 %. Отсюда следует факт того, что запасов и прогнозных ресурсов россыпного золота в Иркутской области при сложившемся уровне добычи достаточно более, чем на четверть века.

Вместе с тем разработка россыпей сопряжена с большой землеемкостью работ, нарушением и уничтожением растительности, загрязнением вод [4–8]. В связи с этим в некоторых странах она приостановлена. Экологические проблемы, связанные с золотодобычей, возникают на разных типах месторождений и при любых способах их разработки [9–14], однако наименьшее негативное влияние на природу будет оказываться при вовлечении в эксплуатацию техногенных отложений. Примеров рационального вовлечения в разработку техногенных россыпей достаточно много [15–22].

Как считают многие специалисты, наибольший интерес вызывает вовлечение в эксплуатацию остаточных целиковых россыпей, гале-эфельных отвалов дражной разработки и отвалов от промывки песков, добытых подземным способом (за исключением отвалов, возникших при обогащении песков с применением амальгамации).

По мнению некоторых специалистов, отрасль россыпной золотодобычи должна была прекратить свое существование еще в 2010–2015 гг. Вопреки этому мнению, на основе представленных выше фактических данных видно, что подотрасль россыпной золотодобычи стабильно функционирует на протяжении последних 20 лет. Какого-либо прироста запасов и увеличения объемов добычи в этой подотрасли, скорее всего, не произойдет, тем не менее нет и предпосылок для падения устоявшихся уровней переработки песков и производства золота.

¹⁸ Коткин В. В., Тищенко Е. И. Прогнозно-поисковые работы по оценке прогнозных ресурсов техногенных отвалов, россыпей с тонким и мелким золотом с составлением карты золотоносности Ленского горнопромышленного района (Ленский объект): отчет по Государственному контракту №111-120. Иркутск, 2008. 546 с. Инв. № 17315.

¹⁹ Там же.



Анализ минерально-сырьевой базы россыпей Иркутской области показал, что в последние 20 лет наблюдается постепенное ухудшение качества запасов и период разработки простых в освоении месторождений россыпного золота подходит к концу. Развитие россыпной золотодобычи в обозримом будущем будет связано с разработкой техногенных образований, удаленных месторождений и запасов со сложными горнотехническими условиями залегания. За этот период в технологиях разработки россыпей кардинальных изменений не произошло, и большинство недропользователей пользуется на данный момент старыми и «проверенными» решениями. Проблема в том, что зачастую данные решения уже неэффективны и эксплуатация россыпей становится малорентабельной. Для эффективной разработки более сложных месторождений специалистам различных направлений необходимо будет решить большое количество технико-экономических и организационных задач. Особое внимание при решении проблем, связанных с технологиями освоения россыпных месторождений, следует уделить следующим критериям: созданию конкурентоспособных технологий, направленных на экономически выгодную, экологически безопасную выемку и переработку минерального сырья; совершенствованию основных технологических процессов, учитывающих многообразие генетических особенностей месторождений, их природные и горнотехнические характеристики; модернизации существующих технологий поисков и разведки россыпного золота; изысканию эффективных способов оценки техногенных образований.

Следует также отметить, что кроме технических и экономических задач для повышения эффективности разработки россыпей необходимо решить вопросы, связанные с несовершенством законодательной базы в сфере недропользования, вопросы развития инфраструктуры районов золотодобычи, государственной поддержки поисковых и геологоразведочных работ, подготовки кадров в сфере россыпной золотодобычи. Для сохранения темпов освоения россыпных месторождений решение этих вопросов является не менее актуальным.

Заключение

На основе представленных выше данных можно сформулировать следующие выводы:

1. Основные перспективы развития золотодобычи в Иркутской области связаны с рудными месторождениями, в которых сосредоточено 95,8 % всех запасов. Динамика добычи рудного золота за последние 10 лет характеризуется ежегодным приростом на 7–19 %.

2. Россыпная золотодобыча в регионе остается по-прежнему стабильной, около 40 % золота добывается из россыпей. При этом имеет место стабильный прирост менее разведанных и качественных запасов.

3. На 1 января 2021 г. в регионе преобладает открытый раздельный способ добычи, на который приходится 74,2 т (категории А+В+С₁+С₂), что составляет 68,2 % балансовых запасов россыпного золота региона; на дражный способ приходится 19,3 т (17,7 %), на подземный – 13,9 т (12,8 %), на гидравлический – 1,3 т (1,2 %).

4. «Срабатывание» высококатегорийных запасов существенно опережает их прирост, при этом прирост низкоккатегорийных запасов заметно опережает их добычу. Например, для открытого раздельного способа этот баланс составляет -34,5 % (А+В+С₁) и +155,6 % (С₂). Этот показатель наглядно показывает ухудшение качества разведки минерально-сырьевой базы россыпных месторождений региона.

5. Горнотехнические условия залегания россыпных месторождений в Бодайбинском районе в целом достаточно сложные. Большая часть месторождений в различной степени поражена мерзлотой, около 70 % россыпей являются сильновалунистыми, часть россыпей труднопромывистые (8,3 %) и непромывистые (4,6 %). Большая доля запасов относится к глубокозалегающим, средняя глубина разработанных за анализируемый период месторождений составляет 12,5 м. Содержание полезного компонента в россыпях постепенно снижается.

6. Освоение техногенных образований может значительно пополнить минерально-сырьевую базу россыпного золота региона (+160 %). Эффективная разработка техногенных россыпей будет связана с открытым раздельным и дражным способами добычи.



Список источников

1. Иванов В. Н. Сырьевая база золота, динамика производства, объекты, перспективы и тенденции развития золотодобывающей отрасли Иркутской области // Золото и технологии. 2017. № 4. С. 94–105.
2. Тальгамер Б. Л., Тютрин С. Г., Ершов В. А. Состояние и перспективы дражной золотодобычи в Иркутской области // Золотодобыча. 2016. № 217. [Электронный ресурс]. URL: <https://zolotodb.ru/article/11656> (20.01.2022).
3. Волков А. В. Золотые перспективы Иркутской области // Золото и технологии. 2017. № 4. С. 118–127.
4. Козлов А. П., Митюшова М. А. Экологические проблемы при освоении россыпных месторождений // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы VIII Междунар. науч. школы молодых ученых и специалистов (г. Москва, 14–18 ноября 2011 г.). М.: Изд-во ИПКОН РАН, 2011.
5. Сорокина О. А. Экологические проблемы при освоении россыпных месторождений золота юга Дальнего Востока // Функционирование геосистем: материалы III регион. науч.-практ. конф. к Всемирным дням воды и метеорологии (г. Владивосток, 21–22 марта 2002 г.). Владивосток: Изд-во ДВФУ, 2002. С. 97–98.
6. Мирзеханова З. Г., Мирзеханов Г. С. Ресурсно-экологические проблемы разработки россыпных месторождений золота // Проблемы геоэкологии и рационального природопользования стран Азиатско-Тихоокеанского региона: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Владивосток, 5–7 сентября 2000 г.). Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. С. 82–83.
7. Янин Е. П. Экологические последствия разработки россыпных месторождений. Обзор // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2019. № 7. С. 10–54.
8. Лунышин П. Д. Россыпи и экология: разумное сочетание возможно // Золото и технологии. 2020. № 4. С. 126.
9. Eßer G., Janz S., Walther H. Promoting biodiversity in recultivating the rhenish lignite-mining area // World of Mining – Surface and Underground. 2017. Vol. 69. Iss. 6. P. 327–334.
10. Egidarev E. G., Simonov E. A. Assessment of the environmental effect of placer gold mining in the Amur river basin // Water Resources. 2015. Vol. 42. P. 897–908. <https://doi.org/10.1134/S0097807815070039>.
11. Sabah A. A.-W., Fouzul A. M. The environmental impact of gold mines: pollution by heavy metals // Open Engineering. 2012. Vol. 2. Iss. 2. P. 304–313. <https://doi.org/10.2478/s13531-011-0052-3>.
12. Fashola M. O., Ngole-Jeme V. M., Babalola O. O. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2016. Vol. 13. Iss. 11. P. 1047. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111047>.
13. Hilson G. The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana: identifying problems and possible solutions // The Geographical Journal. 2002. Vol. 168. Iss. 1. P. 57–72. <https://doi.org/10.1111/1475-4959.00038>.
14. Orimoloye I. R., Ololade O. O. Potential implications of gold-mining activities on some environmental components: a global assessment (1990 to 2018) // Journal of King Saud University – Science. 2020. Vol. 32. Iss. 4. P. 2432–2438. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.03.033>.
15. Жученко Е. Т., Тальгамер Б. Л., Жученко Е. Е. К вопросу дражной разработки техногенных россыпей // Проблемы освоения минеральной базы Восточной Сибири: сб. науч. тр. Вып. 7. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. С. 5–8.
16. Тальгамер Б. Л., Чемезов В. В., Неретин А. В., Дементьев С. А. Оценка потерь алмазов при дражной разработке россыпей // Проблемы развития минеральной базы Восточной Сибири. Вып. 3. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. С. 44–48.
17. Овешников Ю. М., Большаков А. И. Некоторые результаты исследований по полноте отработки россыпных месторождений драгами // Разработка россыпных месторождений: сб. науч. тр. М.: Изд-во МГРИ, 1987. С. 67–71.
18. Кавчик Б. К. Новые технологии для россыпной золотодобычи // Золотодобыча. 2016. № 212. [Электронный ресурс]. URL: <https://zolotodb.ru/article/11485> (20.01.2022).
19. Grayson R. F. BAT – Best Available Techniques for placer gold miners // The Gold Miner's Book. 2017. P. 17–28.
20. Walker D. Placer gold mining in Mongolia – the New Zealand way // World Placer Journal. 2001. Vol. 2. P. 26–29.
21. Череменов С. А. Прииск Соловьевский: 150 лет золотодобычи и реалии сегодняшнего дня // Золотодобыча. 2018. № 230. [Электронный ресурс]. URL: <https://zolotodb.ru/article/11843> (20.01.2022).
22. Череменов С. А. Опыт применения мобильных промывочных комплексов, разработанных специалистами АО «Прииск Соловьевский» // Золотодобыча. 2017. № 220. [Электронный ресурс]. URL: <https://zolotodb.ru/article/11610> (20.01.2022).

References

1. Ivanov V. N. Raw material base of gold, production dynamics, facilities, development prospects and trends of the Irkutsk region gold mining industry. *Zoloto i tekhnologii*. 2017;4:94-105. (In Russ.).
2. Tal'gamer B. L., Tyutrin S. G., Ershov V. A. Status and prospects of dredging gold mining in the Irkutsk region. *Zolotodobycha*. 2016;217. Available from: <https://zolotodb.ru/article/11656> [Accessed 20th January 2022]. (In Russ.).
3. Volkov A. V. Gold prospects for the Irkutsk region. *Zoloto i tekhnologii*. 2017;4:118-127. (In Russ.).
4. Kozlov A. P., Mityushova M. A. Environmental problems in the development of alluvial deposits. In: *Problemy*



osvoeniya nedr v XXI veke glazami molodykh: materialy VIII Mezhdunar. nauch. shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov = Problems of subsoil development in the 21st century through the eyes of the young: materials of the 8th International scientific schools of young scientists and specialists. 14–18 November 2011, Moscow. Moscow: Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Russian Academy of Sciences; 2011. (In Russ.).

5. Sorokina O. A. Environmental problems in the development of alluvial gold deposits in the south of the Far East. In: *Funktsionirovaniye geosistem: materialy III region. nauch.-prakt. konf. k Vsemirnym dnyam vody i meteorologii* = Functioning of geosystems: materials of the 3^d regional scientific and practical conference for the World Days of Water and Meteorology. 21–22 March 2002, Vladivostok. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2002, p. 97–98. (In Russ.).

6. Mirzekhanova Z. G., Mirzekhanov G. S. Resource-environmental problems of alluvial gold deposit development. In: *Problemy geoekologii i ratsional'nogo prirodopol'zo-vaniya stran Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona: materialy Mezhdunaryu nauch.-prakt. konf.* = Problems of geoecology and rational environmental management in the countries of the Asia-Pacific region: materials of the International scientific and practical conference. 5–7 September 2000, Vladivostok. Vladivostok: Far Eastern State Technical University; 2000, p. 82–83. (In Russ.).

7. Yanin E. P. Environmental impact of alluvial deposit development. Overview. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnkh resursov*. 2019;7:10-54. (In Russ.).

8. Lunyashin P. D. Placers and ecology: a reasonable combination is possible. *Zoloto i tekhnologii*. 2020;4:126. (In Russ.).

9. Eßer G., Janz S., Walther H. Promoting biodiversity in recultivating the rhenish lignite-mining area. *World of Mining – Surface and Underground*. 2017;69(6):327-334.

10. Egidarev E. G., Simonov E. A. Assessment of the environmental effect of placer gold mining in the Amur river basin. *Water Resources*. 2015;42:897-908. <https://doi.org/10.1134/S0097807815070039>.

11. Sabah A. A.-W., Fouzul A. M. The environmental impact of gold mines: pollution by heavy metals. *Open Engineering*. 2012;2(2):304-313. <https://doi.org/10.2478/s13531-011-0052-3>.

12. Fashola M. O., Ngole-Jeme V. M., Babalola O. O. Heavy metal pollution from gold mines: environmental

effects and bacterial strategies for resistance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016;13(11):1047. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111047>.

13. Hilson G. The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana: identifying problems and possible solutions. *The Geographical Journal*. 2002;168(1):57-72. <https://doi.org/10.1111/1475-4959.00038>.

14. Orimoloye I. R., Ololade O. O. Potential implications of gold-mining activities on some environmental components: a global assessment (1990 to 2018). *Journal of King Saud University – Science*. 2020;32(4):2432-2438. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.03.033>.

15. Zhuchenko E. T., Tal'gamer B. L., Zhuchenko E. E. On the issue of dredge development of technogenic placers. In: *Problemy osvoeniya mineral'noi bazy Vostochnoi Sibiri* = Development problems of the mineral base of Eastern Siberia. Iss. 7. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2007, p. 5–8. (In Russ.).

16. Tal'gamer B. L., Chemezov V. V., Neretin A. V., Dement'ev S. A. Estimation of diamond losses under placer dredge mining. In: *Problemy razvitiya mineral'noi bazy Vostochnoi Sibiri* = Development problems of the mineral base of Eastern Siberia. Iss. 3. Irkutsk: Irkutsk State Technical University; 2003, p. 44–48. (In Russ.).

17. Oveshnikov Yu. M., Bol'shakov A. I. Some research results on the completeness of alluvial deposit mining by dredges. In: *Razrabotka rossypanykh mestorozhdenii* = Development of alluvial deposits. Moscow: Moscow Geological Prospecting Institute; 1987, p. 67–71. (In Russ.).

18. Kavchik B. K. New technologies for alluvial gold mining. *Zolotodobycha*. 2016;212. Available from: <https://zolotodb.ru/article/11485> [Accessed 20th January 2022]. (In Russ.).

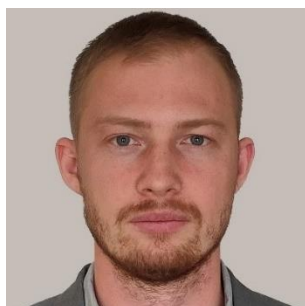
19. Grayson R. F. BAT – Best Available Techniques for placer gold miners. *The Gold Miner's Book*. 2017:17-28.

20. Walker D. Placer gold mining in Mongolia – the New Zealand way. *World Placer Journal*. 2001;2:26-29.

21. Cheremenov S. A. The Solovievsky gold mine: 150 years of gold mining and today's realities. *Zolotodobycha*. 2018;230. Available from: <https://zolotodb.ru/article/11843> [Accessed 20th January 2022]. (In Russ.).

22. Cheremenov S. A. Application experience of mobile washing complexes developed by the specialists of JSC "Priisk Solovievsky". *Zolotodobycha*. 2017;220. Available from: <https://zolotodb.ru/article/11610> [Accessed 20th January 2022]. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the authors



Дорош Егор Алексеевич,
исполнительный директор,
ООО «СибЗолото»,
г. Иркутск, Россия,
egordoros3@gmail.com.
Egor A. Dorosh,
Executive Director,
SibZoloto LLC,
Irkutsk, Russia,
egordoros3@gmail.com.



Тальгамер Борис Леонидович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,
talgamer@istu.edu,
<https://orcid.org/0000-0003-1413-0116>.
Boris L. Talgamer,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Mineral Deposits Development,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,
talgamer@istu.edu,
<https://orcid.org/0000-0003-1413-0116>.

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 27.01.2022; одобрена после рецензирования 14.06.2022; принята к публикации 16.08.2022.
The article was submitted 27.01.2022; approved after reviewing 14.06.2022; accepted for publication 16.08.2022.