

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 622.271.1

DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-13-20



## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОРОД НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БУЛЬДОЗЕРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ

Дорош Е.А.<sup>1</sup>, Тальгамер Б.Л.<sup>2</sup><sup>1</sup> ООО «СибЗолото», Иркутск, Россия<sup>2</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** Бульдозерная разработка россыпных месторождений получила широкое применение начиная с 40-х годов прошлого века при разработке многолетнемёрзлых россыпей и с 60-х годов – при разработке талых россыпей. Увеличение объёмов бульдозерной разработки обеспечивалось, с одной стороны, ростом мощности базовых тракторов, с другой – технологическими преимуществами бульдозерного способа разработки. Вместе с тем, несмотря на богатый опыт использования бульдозерной техники, часто машины используют в неподходящих для этого горно-геологических и горнотехнических условиях, например при разработке пород повышенной влажности. Результатом в конечном счёте является нерациональное использование оборудования и увеличение себестоимости конечной продукции. **Цель работы.** Определение влияния влажности пород на производительность бульдозеров и установление границы, при которой бульдозерная разработка неэффективна. **Методы исследования.** Хронометраж работы бульдозера в обводнённом забое, определение влажности разрабатываемых пород, моделирование технической производительности на основании наблюдений, анализ влияния влажности разрабатываемых пород на производительность бульдозера. **Результаты.** При увеличении влажности разрабатываемых пород с 14 до 26% производительность падает на 51-63%, при увеличении до 34% – на 68-78%. Бульдозерная разработка эффективна при выемке пород нормальной влажности 8-15 %, малоэффективна при влажности 15-25 % и чаще всего неэффективна при влажности более 30-35%. **Практическая значимость.** В связи с ухудшением сырьевой базы россыпного золота и вовлечением в разработку запасов низкого качества важно рационально использовать высокопроизводительное горное оборудование при разработке пород повышенной влажности.

**Ключевые слова:** россыпные месторождения, открытый способ разработки, бульдозер, влажность пород, производительность бульдозеров

© Дорош Е.А., Тальгамер Б.Л., 2023

### Для цитирования

Дорош Е.А., Тальгамер Б.Л. Влияние влажности пород на производительность бульдозера при разработке россыпей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №2. С. 13-20. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-13-20>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# THE INFLUENCE OF ROCK MOISTURE ON BULLDOZER PERFORMANCE IN THE DEVELOPMENT OF PLACERS

Dorosh E.A.<sup>1</sup>, Talgamer B.L.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LLC SibZoloto, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** The development of placers by bulldozers has been widely used since the 1940s in the development of permafrost placers and since the 1960s in the development of thawed placers. On the one hand, the increase in the volume of the development by bulldozers was ensured by an increase in power of utility tractors, and on the other hand, by technological advantages of the development by bulldozers. At the same time, despite the rich experience of the use of bulldozer equipment, machines are often used in unsuitable mining and geological, and mining and engineering conditions, for example, when developing rocks of higher moisture. Ultimately, the result is an inefficient use of equipment and an increase in the cost of final products. **Objectives.** The study is aimed at determining the influence of moisture on performance of bulldozers and establishing a boundary, when the development by bulldozers is inefficient. **Methods Applied.** We applied the following methods: determining the timing of the bulldozer operation in a watered face, determining moisture of developed rocks, modeling technical performance based on the monitoring results, and analyzing the influence of moisture of developed rocks on performance of the bulldozer. **Results.** The performance drops by 51-63% with an increase in moisture of the developed rocks from 14 to 26%, and by 68-78% with an increase to 34%. The development by bulldozers is efficient, when excavating rocks with a normal moisture of 8-15%, less efficient, when moisture content is 15-25%, and more often inefficient at a moisture of over 30-35%. **Practical Relevance.** Due to the deterioration of the raw material resources base of placer gold and the involvement in the development of low-quality reserves, it is important to efficiently use high-performance mining equipment in the development of rocks of higher moisture.

**Keywords:** placer deposits, open pit mining, bulldozer, rock moisture, bulldozer performance

## For citation

Dorosh E.A., Talgamer B.L. The Influence of Rock Moisture on Bulldozer Performance in the Development of Placers. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 13-20. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-13-20>

## Введение

Перспективным направлением в горнодобывающей промышленности страны является добыча золота. Потребность в золоте находится на высоком уровне [1-3]. Несмотря на то, что большая часть золота в стране добывается из рудных месторождений – 69-74% [4], золотоносные россыпи продолжают занимать значительную долю в минерально-сырьевой базе РФ.

Основная часть россыпей сосредоточена на северо-востоке страны, в регионах, стабильно добывающих россыпное золото. Это в первую очередь Магаданская, Иркутская и Амурская области, Республики Саха (Якутия) и Бурятия, Забайкальский край [5]. В этих регионах доля добычи золота из россыпей составляет от 30 до 60%.

Большая часть россыпей в стране разрабатывается открытым раздельным – 60-90% и дражным – 5-15% [6-9] способами, а гидравлический и подземный способы разработки россыпей практически не используются. Большая часть балансовых запасов приходится на открытый

раздельный – 50-70% и дражный – 15-20% способы разработки [8, 10, 11].

Горнотехнические условия залегания россыпных месторождений в целом достаточно сложные [8, 12, 13]. Большая часть месторождений в различной степени поражены мерзлотой, обводнённые, часть россыпей сильно валунистые, пески труднопромывистые. Значительная доля запасов относится к глубокозалегающим с большой мощностью вскрышных пород. Несмотря на сложные горнотехнические условия залегания вовлекаемых в эксплуатацию запасов, в последние годы объемы добычи россыпного золота не снижаются, а в некоторых регионах даже растут [14].

Отмеченные тенденции россыпной золотодобычи обуславливают парадокс. Происходит некоторый рост производственных показателей в условиях ухудшения качества минерально-сырьевой базы и горнотехнических условий. Связанно это в первую очередь с широким внедрением более производительного горного оборудования, позволяющего разрабатывать большие объемы горной массы. При внедрении бульдозерного способа

разработки россыпей в Советском Союзе в 1930-1950 гг. в основном использовали легкие машины малой мощности 30-96 кВт. В период 1950-1970 гг. парк представляли бульдозеры на базе тракторов 80 л.с. (59 кВт) – 12,5%, 100-140 л.с. (74-103 кВт) – 86,4%, 180-385 л.с. (132-283 кВт) – 1,1%. В период 1970-1990 гг. широко применялись средние бульдозеры мощностью 108-180 л.с. (79-132 кВт), реже тяжелые бульдозеры мощностью 300-410 л.с. (220-302 кВт). С 1990 г. по настоящее время широкое применение получили тяжелые бульдозеры мощностью 458-862 л.с. (337-634 кВт).

Достаточно часто при разработке россыпей имеет место неэффективное использование мощного, дорогостоящего горного оборудования. В основном это происходит в сложных горнотехнических условиях, связанных с наличием мерзлоты, валунистостью и обводненностью разрабатываемых пород. В некоторых особо неблагоприятных условиях парк тяжелой бульдозерной техники используется на 20-40% от своей мощности. Как известно, стоимость машино-суток работы таких машин составляет 60-200 тыс. руб. [15], а систематическое неэффективное использование высокопроизводительных машин отрицательно сказывается на себестоимости конечной продукции.

### Проблематика, обзор существующих положений

Обводненность россыпи резко затрудняет её эксплуатацию, заметно снижая производительность горного оборудования. Большинство россыпей северо-востока страны имеет значительные притоки подземных и поверхностных вод, которые, попадая в горные выработки, существенно осложняют работу, увеличивая потери песков, а во многих случаях делая практически невозможной разработку россыпи бульдозерами. Работа на обводненной площади не только резко снижает производительность бульдозера, но и приводит к быстрому износу его ходовой части. Помимо отрицательного влияния на горную технику, обводненность россыпи негативно влияет на устойчивость пород, обогащает породы, прилегающие к плотике, а при наличии большой трещиноватости плотика ведёт к росту потерь металла.

Перед эксплуатацией россыпи выполняется комплекс мероприятий, направленный на осушение полигона (карьерного поля), заключающийся в проведении специальных канав, водоспусков или организации принудительного водоотлива. При разработке россыпей не всегда удается осуществить качественное осушение рыхлых отло-

жений и работы вынужденно выполняются в неблагоприятных условиях. Условия эти могут изменяться в широких пределах, где-то полигоны обводнены незначительно и падение производительности оборудования незаметно, а иногда полигоны обводнены чрезмерно и работа привычными методами там осуществляться не может. Целью данной статьи является определение влияния влажности пород на производительность бульдозеров и выявление границы, при которой разработка становится неэффективной.

На **рис. 1** показана работа бульдозера CAT D9R в необводненном забое. Разрабатываемая порода представлена в основном суглинками, песками и галечниками (целик, III категория, талые). Породы нормальной влажности ~ 14%, объем призмы волочения 10-13 м<sup>3</sup>.

На **рис. 2** приведен пример работы бульдозера CAT D9R в обводненном забое. Разрабатываемая порода представлена илесто-глинистыми отложениями, песками и галечниками (целик, II категория, талые). Влажность породы ~ 34%, объем призмы волочения 3-4,5 м<sup>3</sup>.

При разработке россыпных месторождений потеря производительности бульдозеров на выемке пород повышенной влажности наблюдается довольно часто. Несмотря на актуальность этого вопроса, данных об исследованиях работы бульдозера при разработке пород повышенной влажности немного. Исследованиями, выполненными М.И. Клименко, Г.А. Сулиным, В.И. Емельяновым, В.Г. Лешковым, Л.П. Мацуевым, С.В. Потемкиным [16-21] и связанными с анализом работы бульдозера в обводненном забое, было определено:

1) При влажности песчано-галечных пород 12-18% в зависимости от крупности материала угол призмы волочения перед отвалом бульдозера  $\alpha$  изменяется в пределах 35-41°.

2) Изменение влажности пород с 10 до 20% приводит к увеличению вала, так как в результате большой вязкости породы высота и длина вала приближается к размерам отвала, а угол  $\alpha$  изменяется в небольших пределах.

3) В породах влажностью 30-35% объем вала породы перед бульдозером составляет 20% по отношению к валу породы в гравелистых породах.

4) Наибольшая эффективность достигается при разработке и перемещении грунтов, влажность которых близка к оптимальной – 8-15%.

5) При разработке разжиженных пород на обводненных полигонах большой эффект дает применение открьлков и уширителей. Увеличение вала, перемещаемого бульдозером за счёт уширителей, составляет 48-157%.



Рис. 1. Пример работы бульдозера CAT D9R в нормальном забое  
Fig. 1. Operation of bulldozer CAT D9R in a standard face (for reference)



Рис. 2. Пример работы бульдозера CAT D9R в обводнённом забое  
Fig. 2. Operation of bulldozer CAT D9R in a watered face (for reference)

Особенно низкие показатели бульдозерных работ отмечаются при послойной выемке оттаивающих мёрзлых высокольдистых илистых отложений с их складированием на бортах выработки. При транспортировании таких пород на борт карьера они почти полностью «стекают» с отвала бульдозера. В таких условиях используется параллельная работа нескольких машин с установкой отвалов в одну линию.

Определение влияния влажности пород на производительность горного оборудования важно для проектирования горных работ, так как основной целью проектирования является достижение максимальных результатов с минимальными затратами. Довольно часто при проектировании горных работ область применения и производительность горного оборудования определены без учета факторов, значительно на это влияющих, что негативно сказывается на экономических показателях.

При проектировании разработки россыпных месторождений производительность горного оборудования определяют по расчётным формулам либо нормативам. В нормативах (Единые нормы выработки и времени на разработку россыпных месторождений открытым способом, 1991 г.) для расчёта нормы выработки бульдозера в сильно обводнённом забое в исключительных случаях принято использовать понижающий коэффициент 0,8, что не всегда соответствует действительным условиям работы.

### Материалы и методы исследования

Материалами для исследования послужили полевые наблюдения за работой бульдозера при разработке грунтов различной влажности. Наблюдения проводились на трёх полигонах, обводнённых в различной степени. Первый забой сухой, производительность бульдозера в этом забое послужила эталоном для сравнения. Второй и третий забои обводнённые.

В первую очередь во всех забоях была определена влажность (весовая) разрабатываемых пород. Для этого с каждого забоя отбиралось от 3-х до 5-ти проб по 10-20 г. Пробы взвешивали, а затем просушивали в сушильном шкафу при температуре 90-110°C. Время сушки 3-5 ч. После завершения процедуры пробы снова взвешивали и опять просушивали. Действия повторяли до тех пор, пока разница между весом до и после просушки не превышала 0,02 г. Влажность вычислялась по формуле

$$W = \frac{100(m_1 - m_0)}{m_0 + m},$$

где  $W$  – влажность разрабатываемой породы, %;  $m$  – вес пустого стакана и крышки, г;  $m_1$  – вес разрабатываемой породы вместе с крышкой и стаканом, г;  $m_0$  – вес высушенного грунта со стаканом и крышкой, г.

После вычисления влажности каждой пробы результаты по полигону усреднялись.

В каждом забое осуществлялся хронометраж работы бульдозера при различной дальности транспортирования и постоянном уклоне поверхности от -3 до +3°. Выполнялись операции по подрезке и транспортированию пород, разгрузке, возвращению к исходному положению (обратным ходом), время фиксировалось. После каждого цикла выполнялся замер (тахеометром) объема вала разработанной (отгруженной) бульдозером породы. Затем определялось количество циклов за час работы и рассчитывалась производительность бульдозера.

### Результаты исследования и их обсуждения

Результаты представлены зависимостью технической производительности (рис. 3) и себестоимости работы бульдозера (рис. 4) от дальности транспортирования при различной влажности пород.

Из рис. 3 следует, что при увеличении влажности разрабатываемой породы происходит падение производительности бульдозера. В среднем при увеличении влажности с 14 до 26% производительность падает на 51-63%, а при увеличении до 34% – на 68-78%.

Полученная зависимость справедлива при уклоне забоя от -3 до +3°. Было отмечено, что при увеличении или уменьшении уклона поверхности происходит заметное растекание разрабатываемой более влажной породы и имеют место значительные потери пород при транспортировании.

Породы с влажностью более 30% транспортировать на расстояние более 60-70 м практически невозможно, так как большая их часть теряется (растекается).

Из рис. 4 следует, что при увеличении влажности разрабатываемой породы происходит повышение себестоимости пропорционально падению производительности. В среднем при увеличении влажности с 14 до 26% себестоимость повышается на 51-63%, а при увеличении до 34% – на 68-78%.

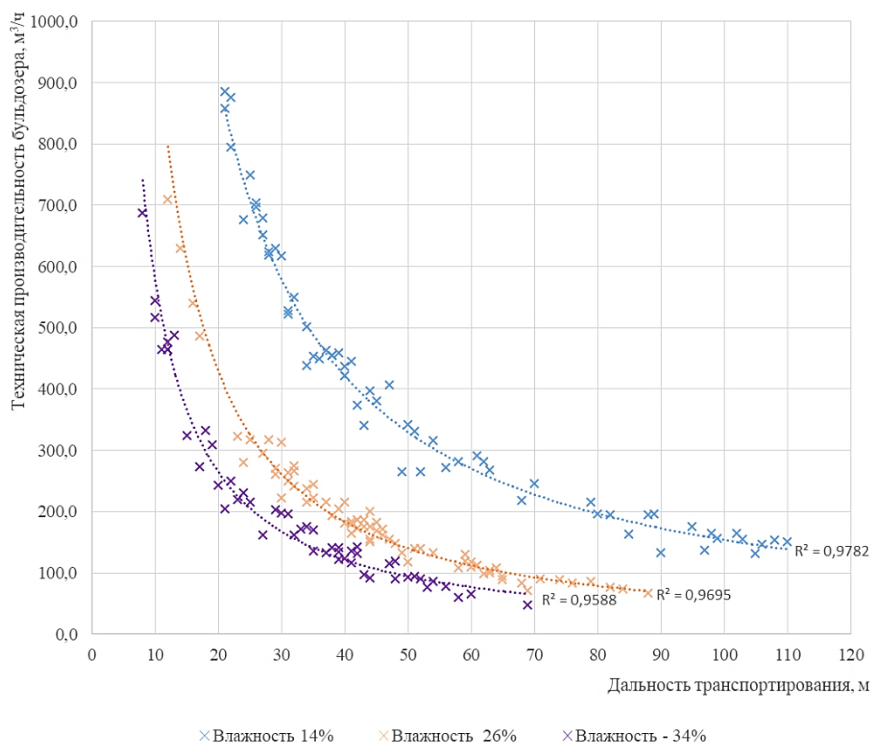


Рис. 3. Зависимость технической производительности бульдозера CAT D9R от дальности транспортирования при влажности пород 14, 26, 34%

Fig. 3. Relation between technical performance of bulldozer CAT D9R and handling distance, when rock moisture is 14, 26, 34%

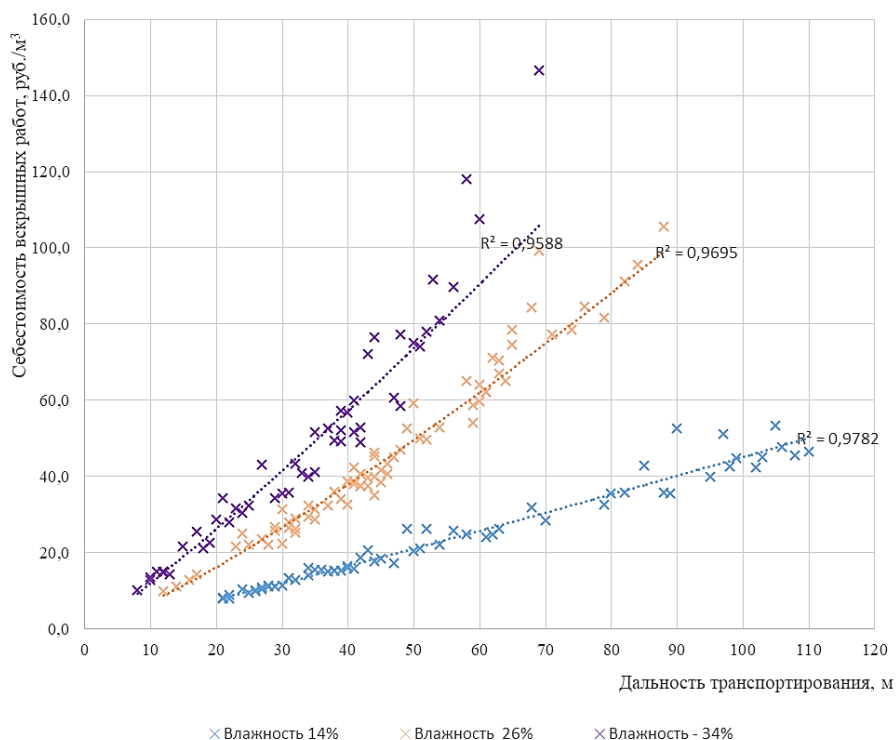


Рис. 4. Зависимость себестоимости разработки пород бульдозером CAT D9R от дальности транспортирования при влажности пород 14, 26, 34% (при стоимости машино-часа работы 6950 руб.)

Fig. 4. Relation between the cost of the rock development by bulldozer CAT D9R and handling distance, when rock moisture is 14, 26, 34% (when machine-hour cost is RUB 6950)

## Выводы

1. Влажность разрабатываемых пород оказывает значительное влияние на производительность бульдозерной техники. Работа бульдозера эффективна при разработке пород нормальной влажности 8-15%, малоэффективна при влажности 15-25% и в основном неэффективна при влажности более 30-35%. Повышение себестоимости разработки пород бульдозером происходит пропорционально падению производительности.

2. При проектировании бульдозерных работ на выемке пород с высокой влажностью (15-35%) рекомендуется вводить в расчёты производительности и нормы выработки понижающий коэффициент от 0,8 до 0,3, учитывающий содержание воды в породе.

## Список источников

1. Рубцов Н.Н. Потребление золота в мире // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Социология. 2013. №1. С. 74-85.
2. Плешинцева А.А. Мировой рынок золота: промышленное потребление // Социально-экономические явления и процессы. 2017. №2. С. 98-105.
3. Егорова М.С., Реховаская В.А., Михайлова К.Ю. Динамика спроса и предложения на мировом рынке золота: проблемы и перспективы // Международный журнал экспериментального образования. 2015. №3. С. 585-548.
4. Обзор золотодобывающей отрасли России по итогам 2020 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru\\_ru/topics/mining-metals/ey-gold-surveys/ey-gold-survey-2020.pdf](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/topics/mining-metals/ey-gold-surveys/ey-gold-survey-2020.pdf) (дата обращения: 09.04.2022).
5. ИТС 49-2017. Добыча драгоценных металлов. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Москва, 2017. С. 3-21.
6. Ермаков С.А., Потехин А.В. Анализ применяемых способов разработки и оборудования на россыпных месторождениях Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 7. С. 218-224.
7. Волков А.В. Золотые перспективы Иркутской области // Золото и технологии. 2017. №4(38). С. 118-127.
8. Дорош Е.А., Тальгамер Б.Л. Анализ запасов золота в Иркутской области и обоснование направлений развития способов разработки россыпей // Науки о земле и недропользование. 2022. №3. С. 118-127.
9. Тальгамер Б.Л., Тютрин С.Г., Ершов В.А. Состояние и перспективы дражной золотодобычи в Иркутской области // Золотодобыча. 2016. №12(217). С. 11-15.
10. Перспективы резервного фонда минерально-сырьевой базы россыпного золота / Куторгин В.И., Сапрыкин А.А., Джобадзе В.А., Тарасов А.С. // ЦНИГРИ Роснедра МПР России. 2008. №4. С. 9-15.

11. Состояние и перспективы развития золотодобывающей промышленности Республики Саха (Якутия) // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. №2. С. 45-50.
12. Бураков А.М., Ермаков С.А., Касанов И.С. Особенности горнотехнических условий разработки россыпных месторождений Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. №7. С. 190-198.
13. Дорош Е.А., Тальгамер Б.Л. Оценка перспектив развития россыпной золотодобычи в России // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геонаука – 2021». Иркутск: Изд-во ИрННТУ, 2021. С. 58-66.
14. Производство золота в России [Электронный ресурс] // Золотодобыча. Информ. реклам. бюлл. Иркутск: Иргиредмет, 2019. <https://zolotodb.ru/article/10922>
15. Бабий Ю.А., Москалевич В.И., Пятаков В.Г. Технико-экономические показатели работы горно-транспортного оборудования, определённые на базе данных, полученных дистанционным способом [Электронный ресурс] // Золотодобыча. 2022. Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/12795>
16. Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений. М.: Горная книга, 2007. 906 с.
17. Емельянов А.И. Технология бульдозерной разработки вечномёрзлых россыпей. М.: Недра, 1976. 287 с.
18. Клименко М.И., Сулин Г.А. Разработки россыпных месторождений бульдозерами. Магадан: Магаданское книжное издательство, 1976. 201 с.
19. Сулин Г.А. Техника и технология разработки россыпей открытым способом. М.: Недра, 1974. 233 с.
20. Справочник по разработке россыпей / В.П. Березин, В.Г. Лешков, Л.П. Мацуева, С.В. Потемкин. М.: Недра, 1973. 592 с.
21. Березин В.П. Справочник по разработке россыпей. Магадан: Магаданское книжное издательство, 1959. 200 с.

## References

1. Rubtsov N.N. Consumption of gold in the world. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Ser. Sotsiologiya* [RUDN Journal of Sociology]. 2013;(1):74-85. (In Russ.)
2. Pleshintseva A.A. World market of gold: industrial consumption. *Sotsialno-ekonomicheskie yavleniya i protsessy* [Social-Economic Phenomena and Processes]. 2017;(2):98-105. (In Russ.)
3. Egorova M.S., Rekhovskaya V.A., Mikhailova K.Yu. Dynamics of demand and supply in the global gold market: problems and prospects. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education]. 2015;(3):545-548. (In Russ.)
4. Overview of the gold mining industry in Russia at year end 2020 [Electronic resource]. Available at: [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru\\_](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_)

- ru/topics/mining-metals/ey-gold-surveys/ey-gold-survey-2020.pdf (Accessed on April 09, 2022).
5. ITS 49-2017. *Dobycha dragotsennykh metallov* [Information and technical reference book 49-2017. Extraction of precious metals]. Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 2017, pp. 3-21. (In Russ.)
  6. Ermakov S.A., Potekhin A.V. The analysis of applied development methods and equipment at alluvial deposits in Yakutia. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2012;(7):218-224. (In Russ.)
  7. Volkov A.V. Golden prospects for the Irkutsk Region. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and Technologies]. 2017;(4(38)):118-127. (In Russ.)
  8. Dorosh E.A., Talgamer B.L. The analysis of gold reserves in the Irkutsk Region and providing a rationale for areas of the development of methods for placer mining. *Nauki o zemle i nedropolzovanie* [Earth Sciences and Subsoil Use]. 2022;(3):118-127. (In Russ.)
  9. Talgamer B.L., Tyutrin S.G., Ershov V.A. Status and prospects of dredging gold mining in the Irkutsk Region. *Zolotodobycha* [Gold Mining]. 2016;(12(217)):11-15. (In Russ.)
  10. Kutorgin V.I., Saprykin A.A., Dzhobadze V.A., Tarasov A.S. Prospects for the reserve fund of the mineral resource base of alluvial gold. *TsNIGRI Rosnedra MPR Rossii* [Central Geological Research Institute for Non-Ferrous and Precious Metals, the Federal Agency on Subsoil Use, the Ministry of Natural Resources of Russia]. 2008;(4):9-15. (In Russ.)
  11. Status and prospects of the development of the gold mining industry of the Republic of Sakha (Yakutia). *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie* [Mineral Resources of Russia. Economics and Management]. 2013;(2):45-50. (In Russ.)
  12. Burakov A.M., Ermakov S.A., Kasanov I.S. Features of mining conditions for the development of alluvial deposits in Yakutia. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2012;(7):190-198. (In Russ.)
  13. Dorosh E.A., Talgamer B.L. Assessment of prospects for the development of alluvial gold mining in Russia. *Materialy Vserossiiskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Geonauki – 2021»* [Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference with an International Participation “Geoscience – 2021”]. Irkutsk: Publishing House of Irkutsk National Research Technical University, 2021, pp. 58-66. (In Russ.)
  14. Gold production in Russia. Gold mining. Information and advertising bulletin. Irkutsk: Irgiredmet, 2019. Available at: <https://zolotodb.ru/article/10922>
  15. Babiy Yu.A., Moskalevich V.I., Pyatakov V.G. Technical and economic indicators of the operation of mining and transport equipment determined on the basis of remotely obtained data. *Gold mining*, 2022. Available at: <https://zolotodb.ru/article/12795>
  16. Leshkov V.G. *Razrabotka rossypanykh mestorozhdeniy* [Development of alluvial deposits]. Moscow: Gornaya kniga, 2007, 906 p. (In Russ.)
  17. Emelyanov A.I. *Tekhnologiya buldozernoy razrabotki vechnomerzlykh rossypey* [Technology of the development of permafrost placers by bulldozers]. Moscow: Nedra, 1976, 287 p. (In Russ.)
  18. Klimenko M.I., Sulin G.A. *Razrabotka rossypanykh mestorozhdeniy buldozerami* [Development of placer deposits by bulldozers]. Magadan: Magadan Book Publishing House, 1976, 201 p. (In Russ.)
  19. Sulin G.A. *Tekhnika i tekhnologiya razrabotki rossypey otkrytym sposobom* [Engineering and technology of the open pit mining of placers]. Moscow: Nedra, 1974, 233 p. (In Russ.)
  20. Berezin V.P., Leshkov V.G., Matsueva L.P., Potemkin S.V. *Spravochnik po razrabotke rossypey* [Reference book on the development of placers]. Moscow: Nedra, 1973, 592 p. (In Russ.)
  21. Berezin V.P. *Spravochnik po razrabotke rossypey* [Reference book on the development of placers]. Magadan: Magadan Book Publishing House, 1959, 200 p. (In Russ.)

Поступила 13.03.2023; принята к публикации 24.04.2023; опубликована 27.06.2023  
Submitted 13/03/2023; revised 24/04/2023; published 27/06/2023

**Дорош Егор Алексеевич** – исполнительный директор ООО «СибЗолото», Иркутск, Россия.  
Email: egordoros3@gmail.com.

**Тальгамер Борис Леонидович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, Институт недропользования, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия.  
Email: talgamer@istu.edu. ORCID 0000-0003-1413-0116

**Egor A. Dorosh** – Executive Director of LLC SibZoloto, Irkutsk, Russia.  
Email: egordoros3@gmail.com.

**Boris L. Talgamer** – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Mineral Deposits Development, Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.  
Email: talgamer@istu.edu. ORCID 0000-0003-1413-0116