

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ВЫБОРУ ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ СНАБЖЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖИЛЬНОГО ТИПА

Д.А. Урбаев¹, Б.А. Ахпашев¹, А.В. Галайко¹, А.А. Новиков¹

¹ Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия, e-mail: urbaev2011@mail.ru

Аннотация: Приведено обоснование рекомендаций по выбору оптимальных вариантов снабжения взрывных работ при разработке мелкомасштабных месторождений золота жильного типа. Приводятся факторы, усложняющие освоение подобных рудных объектов. Описан риск, связанный с отклонениями фактических показателей работы горного предприятия от проектных значений. В этих условиях недропользователь желает реализовывать рациональные, прежде всего с экономической точки зрения, проектные решения. Обозначена проблема недостаточности методической базы при обосновании проектных решений по безопасному хранению взрывчатых материалов на различных этапах освоения мелкомасштабного золоторудного месторождения. Предварительно оговорены типичные условия, сопровождающие разработку данных месторождений. Приведена суть метода градиентного спуска, позволяющего выбрать оптимальный вариант снабжения взрывчатыми материалами. На первом этапе применения метода проведено деление ограничений на базовое, жесткие и мягкие, сделанное на основе анализа действующих нормативных документов. На втором этапе представлена система начисления баллов за нарушение ограничений. На третьем этапе произведено начисление баллов каждому варианту снабжения ВМ на всех стадиях освоения месторождения. В результате предложены конкретные рекомендации недропользователям по типу и конструктивному исполнению мест хранения взрывчатых материалов. По итогу проведенных исследований разработаны рекомендации по выбору оптимальных вариантов снабжения взрывчатыми материалами мест производства взрывных работ на всех стадиях освоения мелкомасштабных золоторудных месторождений.

Ключевые слова: мелкомасштабные жильные месторождения золота, сложность природных и технологических параметров, риск неподтверждения, метод градиентного спуска, контейнер на открытой площадке, подземная раздаточная камера, участковый пункт хранения, оптимальный вариант снабжения, виды ограничений, разработка рекомендаций.

Для цитирования: Урбаев Д. А., Ахпашев Б. А., Галайко А. В., Новиков А. А. Разработка рекомендаций по выбору оптимальных вариантов снабжения взрывных работ при разработке золоторудных месторождений жильного типа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 1. – С. 59–69. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_59.

Recommendations on selecting optimized blasting supply scenarios in lode gold ore mining

D.A. Urbaev¹, B.A. Akhpashev¹, A.V. Galaiko¹, A.A. Novikov¹

¹ Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: urbaev2011@mail.ru

Abstract: The article justifies recommendations on selecting optimized blasting supply scenarios in mining small lodes of gold ore. The complications of such type ore mining are listed. There is a risk of deviation of actual mining performance from the project values. In such conditions, a subsoil user needs economically efficient design solutions. It is pointed at insufficient methodical framework for the justification of design solutions on explosives storage at different stages of small-size gold ore body mining. The average service conditions in mining such ore bodies are described. The gradient descent method allows selecting an optimized method of explosives supply. At the first stage of the method application, the discrimination of the basic, stringent and soft constrain is carried out on the ground of regulatory documents in effect. At the second stage, the constraint violation scoring is presented. At the third stage, each blasting supply scenario is a given a score per all phases of mining. As a result, specific recommendations are offered for a subsoil user to arrange and construct storage places for explosive materials. Furthermore, the recommendations on selecting optimized supply of blasting sites with explosive materials at all stages of small-size gold ore mining are given.

Key words: small-size lode gold ore, complexity of natural and technical parameters, unconfirmation risk, gradient decent method, open-air container, underground issue room, district storage point, optimized supply scenario, constraints, recommendations.

For citation: Urbaev D. A., Akhpashev B. A., Galaiko A. V., Novikov A. A. Recommendations on selecting optimized blasting supply scenarios in lode gold ore mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(1):59-69. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_59.

Введение

Мелкие объекты рудной золотодобычи в основном представлены маломощными и тонкими рудными телами, залегающими под крутым углом, что предопределяет подземный способ отработки. Для них характерна резкая изменчивость элементов залегания, неравномерность минерализации. Наряду с географической удаленностью при разработке данного типа месторождений в большой степени сказывается влияние природных факторов. [1]. Отсутствие высокоэффективных технологий и надежных, гибких стратегий для успешной разработки мелкомасштабных месторождений золота отмечено в статье [2].

Согласно проведенному анализу рассмотренной Центральной комиссией по разработке месторождений твердых полезных ископаемых Федерального агентства по недропользованию (ЦКР-ТПИ

Роснедр) проектной документации на разработку месторождений твердых полезных ископаемых, выявлена тенденция существенного (иногда более чем в 3 раза) увеличения, начиная с 2017 г., количества поступающих изменений (дополнений) к техническим проектам, что в большинстве случаев связано с отклонением фактической производительности от проектных значений [3]. Это касается и разработки месторождений золота жильного типа.

Возникает риск подземной геотехнологии, выраженный в виде, например, неподтверждения балансовых запасов [4–6]. По данным проведенных исследований [7] величина такого риска может достигать 25% и выше (рис. 1).

Полученный средний показатель по значению близок к специальному нормативу 0,3 для учета неопределенности ожидаемого интегрального эффекта,

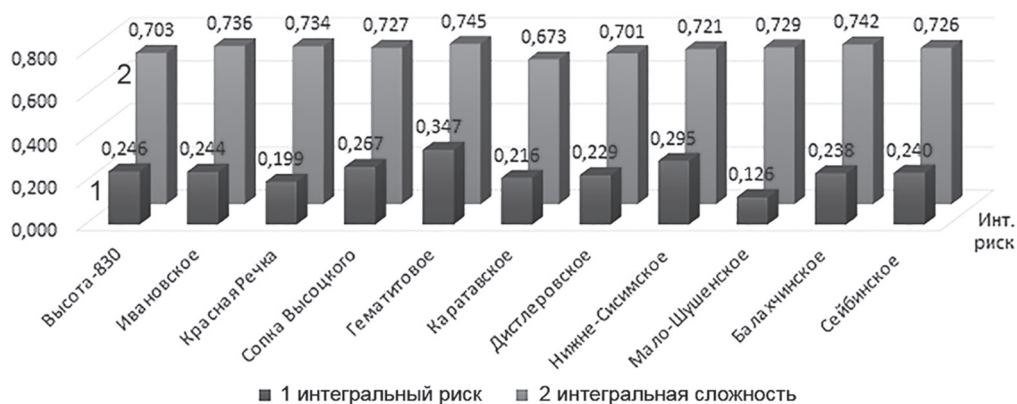


Рис. 1. Интегральные сложности и риски неподтверждения средних значений мощности рудных тел и содержания в них металла по ряду месторождений золота юга Центральной Сибири

Fig. 1. Integral difficulties and risks of non-confirmation of the average thickness of ore bodies and metal content in them for a number of gold deposits in southern Central Siberia

предлагаемого в [8]. Зная об этом, предприятие-недропользователь на начальном этапе, как правило, старается сократить первоначальные вложения в инфраструктуру будущей производственной единицы как минимум до выхода на проектную производительность по рудной массе. Это выражается, в частности, в использовании модульных конструкций, мобильного технологического оборудования, возведения зданий и сооружений временного характера. Также накладывает свой отпечаток на принимаемые проектные решения малый срок существования рудника, небольшая суточная

производительность и узкий фронт работ.

Строительство горных выработок, очистные работы должны быть обеспечены необходимыми ресурсами вовремя и в необходимом объеме. Это напрямую касается и снабжения горных работ взрывчатыми материалами (ВМ), точнее говоря, хранения ВМ. Все возможные варианты хранения ВМ представлены на рис. 2.

Сложность выбора оптимального варианта хранения ВМ обусловлена целым рядом ограничений, соблюдение которых затрагивает прежде всего вопросы

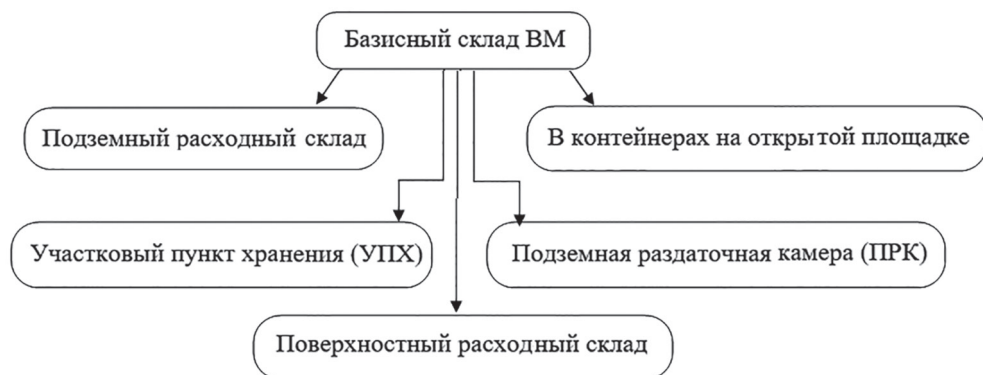


Рис. 2. Возможные варианты хранения ВМ

Fig. 2. Possible options for storing explosive materials



Рис. 3. Схема оптимального варианта хранения ВМ

Fig. 3. The scheme of the optimal variant

безопасности, и обеспечением потребности при производстве взрывных работ на каждом этапе освоения месторождения, также немаловажную роль играет экономическая составляющая (рис. 3).

Анализ проектной документации по разведке и разработке мелкомасштабных месторождений золота Сибири и Дальнего Востока показал отсутствие или недостаточную проработку вопросов безопасного хранения и обеспечения мест производства взрывных работ взрывчатыми материалами.

По нашему мнению, существует нехватка методической базы при принятии проектных решений при освоении мелких золоторудных объектов жильного типа, которая учитывала бы сложный характер влияющих факторов и обеспечивала надежность и безопасность снабжения горных работ взрывчатыми материалами.

Цель исследования — разработать рекомендации по выбору оптимальных вариантов снабжения взрывчатыми материалами мест производства ВР на всех стадиях освоения мелкомасштабных золоторудных месторождений.

Метод исследования

Для проведения исследований зададим следующие типичные для данного типа месторождений условия:

- отработка отдельных рудных тел в составе одного рудного узла или доработка подкарьерных запасов нескольких или группы рудных тел;
- вскрытие будет производиться горизонтальными или наклонными выработками;
- снабжение ВМ с близкорасположенного базисного склада предприятия (до 20 км);
- применение малогабаритного самоходного горного оборудования;
- небольшие по объему разведанные запасы полезного ископаемого (до 5 т) с возможностью прироста в результате доразведки.

Для того чтобы был выбран оптимальный вариант снабжения ВМ, предлагается использовать метод градиентного спуска, который предусматривает нахождение локального минимума или максимума функции с помощью движения вдоль градиента [9—13]. Суть метода заключается в нахождении оптимальных параметров снабжения взрывных работ на разных этапах отработки месторождения.

Применение метода состоит из следующих этапов:

1. классификация ограничений;
2. приведение к оценочной системе, с интеграцией в нее балльной системы;
3. выявление оптимального варианта.

Описание исследования

Разберем подробнее каждый этап.

Этап 1: классификация ограничений

Значение слова «ограничение», согласно [14], — это «стеснение, ограничивающее права, возможности». В рамках данного исследования отсутствует задача как-то обойти действующие требования нормативных документов, это недопустимо в виду обязательности к их исполнению всеми участниками оборота ВМ. Допустим, что ограничения — это границы, обозначенные простой логикой, основанной на проектном опыте. Также это статьи ФНиП, которые по-разному влияют на выбор того или иного проектного решения по снабжению мест производства ВР в обозначенных

выше условиях, отвечающего всем требованиям безопасности.

Ограничений всего будет три. Первым идет основополагающее базовое ограничение — обоснование конструкции и вместимости склада ВМ напрямую зависит от потребности подземного рудника в ВМ. Базовое ограничение по степени влияния на выбор конкретного проектного решения будет самым важным, и игнорировать его недопустимо.

Жесткие ограничения — те ограничения, которые прямо влияют на выбор конкретного проектного решения, например конструкции или (и) вместимости места хранения ВМ.

Мягкие ограничения — те ограничения, которые прямо не влияют на выбор конкретного проектного решения.

Таблица 1

Система разделения ограничений System of constraint partitioning

Мягкие	№ п. [15]	Жесткие	№ п. [15]
Хранение ВМ в подземных раздаточных камерах (ПРК). Порядок хранения взрывчатых материалов, содержания и охраны подземных раздаточных камер должен быть таким же, как и в подземных складах ВМ	534	Конструкция подземных раздаточных камер Раздаточные камеры должны быть закреплены несгораемой крепью и иметь стационарное освещение. Подводящие выработки на протяжении не менее 5 м также должны быть закреплены несгораемой крепью.	536
Проекты на места хранения ВМ. ... Другие места хранения взрывчатых материалов должны оборудоваться по проектам, утвержденным в установленном порядке, и эксплуатироваться в соответствии с требованиями настоящих Правил	427	Вместимость места хранения ВМ. Предельная вместимость отдельной раздаточной камеры в подземных выработках не должна превышать 2 т взрывчатых веществ (ВВ) и соответствующего количества средств инициирования (СИ)	534
Хранение у штолен, стволов, в будках или под навесами. У стволов шахт, устьев штолен (тоннелей) при их проходке разрешается размещать взрывчатые материалы в размере сменной потребности в будках или под навесами на расстоянии не ближе 50 м от ствола шахты или устья штольни (тоннеля)	137	Размещение мест хранения ВМ. Запрещается вести взрывные работы ближе 30 м от складов взрывчатых материалов, раздаточных камер или участков пунктов хранения взрывчатых материалов при наличии в них взрывчатых веществ (средств инициирования)	541

Таблица 2

Система начисления баллов конкретному проектному решению, включающему возможный выход за границы ограничений
The system of awarding points for violations of restrictions

Вид ограничения	Количество баллов, начисляемых за один выход за границы ограничений
Базовое	1 000 000
Жесткие	100 000
Мягкие	2000

Следует отметить, что при принятии проектных решений возможен учет пожеланий недропользователя только в виде мягких ограничений.

Для наглядности некоторые ограничения представлены в табл. 1, где они разделены на жесткие и мягкие, с указанием номера пункта в действующих ФНиП [15].

После выполнения этапа 1 переходим к этапу 2.

Этап 2: приведение к оценочной системе, с интеграцией в нее балльной системы

В табл. 2 представлена предлагаемая система начисления баллов конкретному проектному решению, включающему

возможный выход за границы ограничений. Количество начисляемых баллов должно соответствовать конкретному виду ограничений.

Стоит отметить, что количество баллов для того или иного вида ограничений взято условно с намерением четко выделить конкретный конкурирующий вариант снабжения ВМ на фоне остальных.

Этап 3: выявление оптимального варианта

Прежде чем перейти к третьему этапу применения предлагаемого метода, необходимо провести расчет суточной потребности в ВВ на типичном руднике с выше оговоренными исходными усло-

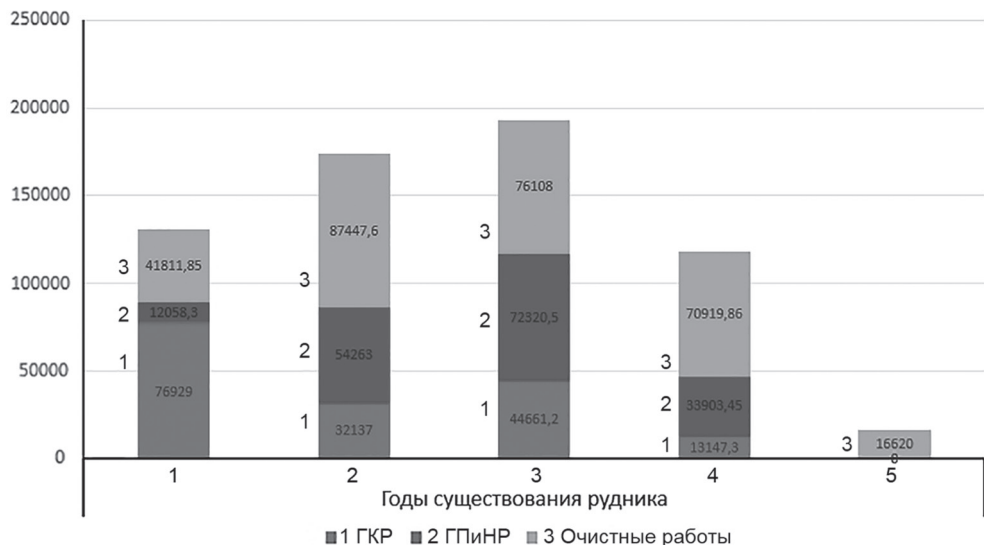


Рис. 4. Примерный расчет объемов горных работ условного рудника

Fig. 4. Example of calculation of the volume of mining works of a mine

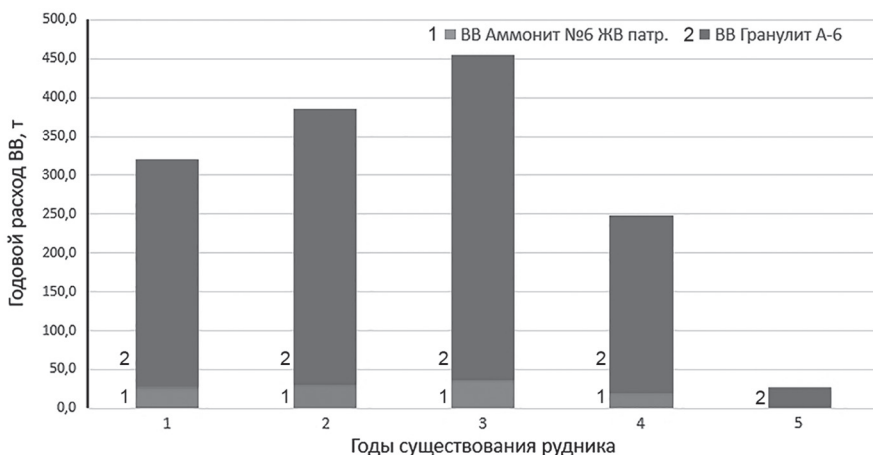


Рис. 5. Примерный расчет годового расхода ВВ условного рудника
 Fig. 5. Example of calculation of the annual consumption of explosives of a mine

виями разработки и проектной годовой производительности по рудной массе 250 тыс. т/год. Для расчета взяты фактические удельные расходы ВВ и СИ по данным практики разработки жильных месторождений золота подземным способом. Предварительно рассчитаны объемы горных работ условного рудника (рис. 4).

Максимум потребности в ВВ достигается на 3-м году разработки, когда рудник уже достигает проектной произ-

водительности; это мы можем увидеть на рис. 5, 6.

Примечателен результат расчета, показывающий, что на втором году освоения месторождения суточная потребность в ВВ превышает 1 т.

Результаты

Теперь возможен анализ вариантов снабжения ВМ, рассматриваемых в совокупности с ограничениями, накладываемыми на их применение (см. табл. 3).

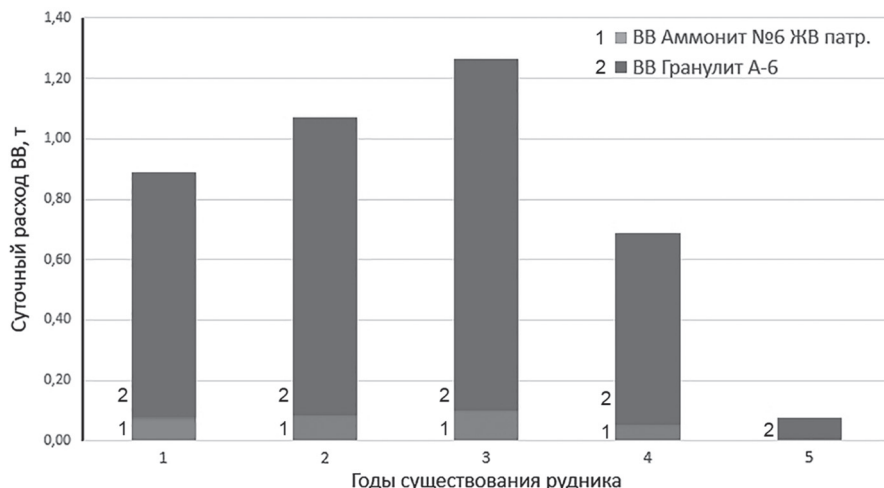


Рис. 6. Примерный расчет суточной потребности в ВВ условного рудника
 Fig. 6. Example of calculation of the daily requirement for explosives of a mine

Таблица 3

Выявление оптимального варианта снабжения ВМ на примере рудника в Амурской области
Identification of the optimal option for the supply of explosives by the example of a mine in the Amur region

Этапы освоения рудника	Вариант снабжения ВМ мест производства взрывных работ (баллы)			
	склад ВМ (контейнер) сменного хранения ВВ на открытой площадке	участковый пункт хранения (УПХ)	подземная раздаточная камера (ПРК)	подземный расходный склад
1. Геолого-разведочные работы (ГРР)	0	2000	2000	2000
2. Годовая производительность подземного рудника не превышает половины от проектной ($A_{\text{год}}$ до 50%)	100 000	0	2000	2000
3. Годовая производительность подземного рудника равна проектной ($A_{\text{год}} = 100\%$)	100 000	1 000 000	0	2000

Обсуждение результатов

Из представленной таблицы можно вывести следующие рекомендации недорпользователю по обеспечению горных работ взрывчатыми материалами на различных стадиях освоения золоторудного месторождения:

- на стадии геолого-разведочных работ оптимальным вариантом является склад ВМ контейнерного типа на открытой площадке вблизи промышленной площадки участка подземных работ;

- на второй стадии освоения, когда годовая производительность меньше половины от проектной, оптимальным вариантом является участковый пункт хранения, размещаемый на расширении подземной выработки с решетчатыми ограждениями и металлическими шкафами; для остальных вариантов были начислены баллы за выход за границы мягких ограничений, а для склада сменного хранения ВВ на открытой площадке произошел выход за границы жесткого ограничения (при сроке службы три года и более склад становится постоянным (п. 429 с соблюдением п. 443 — 485 [15]));

- на третьей стадии освоения с выходом на проектную мощность оптимальный вариант — подземная раздаточная камера, размещаемая в отдельной проветриваемой выработке с несгораемой крепью и необходимым оборудованием (п. 534 — 536 [15]). Для варианта снабжения ВМ мест производства взрывных работ через склад сменного хранения ВВ на открытой площадке — аналогично тому, как и на второй стадии, произошел выход за границы жесткого ограничения. Вариант снабжения взрывных работ, предусматривающий строительство подземного расходного склада, не рекомендуется в связи с нецелесообразностью строительства и небольшим сроком существования рудника. В конкретном случае были учтены пожелания заказчика в виде мягкого ограничения и начислены соответствующие баллы. В свою очередь вариант снабжения с использованием участкового пункта хранения нарушает базовое ограничение (п. 537, [15]).

По результатам проведенного исследования было принято решение, кото-

рое нашло применение в проектной документации на разработку Березитового месторождения золото-полиметаллических руд комбинированным способом.

Направление будущих исследований заключается в расширенном рассмотрении поставленного в данной статье вопроса с учетом альтернативных методов и средств ведения взрывных работ на горных предприятиях, а именно: ведение взрывных работ специализированной организацией, изготовление ВМ на местах производства взрывных работ, применение специализированных невзрывчатых составов и патронов-газогенераторов.

Заключение

В итоге проведенных исследований разработаны рекомендации по выбору оптимальных вариантов снабжения взрывных работ при разработке мелкомасштабных месторождений золота жильного типа на всех стадиях их освоения, основанные на результатах применения метода градиентного спуска.

Авторы благодарят преподавателей кафедр «Подземная разработка месторождений им. Н.Х. Загирова» и «Шахтного и подземного строительства» за их предложения и замечания, которые значительно улучшили качество статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Урбаев Д. А. Количественная оценка сложности разработки мелкомасштабных месторождений золота (на примере разработки мелкомасштабных золоторудных месторождений юга Центральной Сибири): дис. канд. техн. наук. — Красноярск, 2004. — 218 с.

2. Sobolev A., Gibson P., Sekisov G., Andriushenko A. Strategic positioning of the Russian Far East gold mining industry // E3S Web Conference. 2020, vol. 192, article 03021. DOI: 10.1051/e3sconf/202019203021. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/52/e3sconf_pcdg2020_03021.pdf.

3. Сытенков В. Н. Обоснование отклонений производительности по полезному ископаемому при проектировании и планировании горных работ // Рациональное освоение недр. — 2018. — № 4. — С. 60–65.

4. Rötzer N., Schmidt M. Decreasing metal ore grades — Is the fear of resource depletion justified? // Resources. 2018, vol. 7, no. 4, pp. 88. DOI: 10.3390/resources7040088. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9276/7/4/88>.

5. Camisani-Calzolari F. A. National and international codes for reporting mineral resources and reserves: Their relevance, future and comparison // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2015, vol. 105, no. 5, pp. 297–305. URL: <https://www.saimm.co.za/Journal/v104n05p297.pdf>.

6. Henley S. Reporting standards, codes, templates, and classifications: conversion, bridging, and mapping // European Geologist. 2015, vol. 39, pp. 40–43. URL: https://eurogeologists.eu/wp-content/uploads/2017/08/a_efg_journal.pdf.

7. Урбаев Д. А., Вохмин С. А. Оценка риска подземной геотехнологии сложных жильных месторождений: монография. — Красноярск: СФУ, 2020. — 144 с.

8. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов, (вторая редакция): утв. Министерством экономики РФ 21.06.1999. — М., 2000. — 89 с.

9. Бахтий Н. С., Кутрунов В. Н., Майер С. В., Сафиуллина М. В. Оптимизация градиентных методов решения экстремальных задач в подземной гидродинамике // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. — 2011. — № 7. — С. 143–149.

10. Барановская Л. В., Чернова Н. М. Определение экстремальных значений компонентов напряженно-деформированного состояния крановых металлоконструкций коробо-

чатого сечения градиентными методами // Горное оборудование и электромеханика. — 2019. — № 5. — С. 3–7.

11. Grigorenko N. L., Kamzolkin D. V., Pivovarchuk D. G. Optimization of open-pit mining by the gradient method // *Computational Mathematics and Modeling*. 2016, vol. 27, no. 3, pp. 351–359. DOI 10.1007/s10598-016-9326-1.

12. Ненадович Д. М. Градиентные методы в задачах оптимизации характеристик систем управления инфокоммуникационными сетями // *Научный вестник МГТУ ГА*. — 2006. — № 107. — С. 13–136.

13. Ruder S. An overview of gradient descent optimization algorithms. DBLP computer science bibliography. Dublin, 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1609.04747v2>.

14. Кузнецов С. А. Новейший большой толковый словарь русского языка. — СПб., М.: Норинт; Рипол классик, 2008. — 1534 с.

15. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения». Утв. Пр. № 494 от 03.12.2020. — М.: Ростехнадзор, 2020. — 405 с. **PDF**

REFERENCES

1. Urbaev D. A. *Kolichestvennaya otsenka slozhnosti razrabotki melkomasshtabnykh mestorozhdeniy zolota (na primere razrabotki melkomasshtabnykh zolotorudnykh mestorozhdeniy yuga Tsentral'noy Sibiri)* [Quantitative assessment of the complexity of developing small-scale gold deposits (using the example of developing small-scale gold deposits in Southern Central Siberia)], Candidate's thesis, Krasnoyarsk, 2004, 218 p.

2. Sobolev A., Gibson P., Sekisov G., Andriushenko A. Strategic positioning of the Russian Far East gold mining industry. *E3S Web Conference*. 2020, vol. 192, article 03021. DOI: 10.1051/e3sconf/202019203021, available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/52/e3sconf_pcdg2020_03021.pdf.

3. Sytenkov V. N. Justification for the minerals productivity deviations in the design and planning of mining operations. *Ratsionalnoe osvoenie nedr*. 2018, no. 4, pp. 60–65. [In Russ].

4. Rötzer N., Schmidt M. Decreasing metal ore grades – Is the fear of resource depletion justified? *Resources*. 2018, vol. 7, no. 4, pp. 88. DOI: 10.3390/resources7040088, available at: <https://www.mdpi.com/2079-9276/7/4/88>.

5. Camisani-Calzolari F. A. National and international codes for reporting mineral resources and reserves: Their relevance, future and comparison. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015, vol. 105, no. 5, pp. 297–305, available at: <https://www.saimm.co.za/Journal/v104n05p297.pdf>.

6. Henley S. Reporting standards, codes, templates, and classifications: conversion, bridging, and mapping. *European Geologist*. 2015, vol. 39, pp. 40–43, available at: https://eurogeologists.eu/wp-content/uploads/2017/08/a_efg_journal.pdf.

7. Urbaev D. A., Vokhmin S. A. *Otsenka riska podzemnoy geotekhnologii slozhnykh zhil'nykh mestorozhdeniy: monografiya* [Risk assessment of underground geotechnology of complex vein deposits: the monograph], Krasnoyarsk: SFU, 2020, 144 p.

8. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh projektov, (vtoraya redaktsiya): utv. Ministerstvom ekonomiki RF 21.06.1999* [Methodical Recommendations on Evaluating the Efficiency of Investment Projects (2nd Edition): Approved by the Ministry of Economy of the Russian Federation. From 21 June, 1999], Moscow, 2000, 89 p. [In Russ].

9. Bakhtiy N. S., Kutrunov V. N., Mayer S. V., Safullina M. V. Optimization of gradient methods for solving extreme problems in underground hydro-dynamics. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy*. 2011, no. 7, pp. 143–149. [In Russ].

10. Baranovskaya L. V., Chernova N. M. Determination of extreme values of stressed-strained state components of crane steel structures of box section by gradient methods. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2019, no. 5, pp. 3–7. [In Russ].

11. Grigorenko N. L., Kamzolkin D. V., Pivovarchuk D. G. Optimization of open-pit mining by the gradient method. *Computational Mathematics and Modeling*. 2016, vol. 27, no. 3, pp. 351–359. DOI 10.1007/s10598-016-9326-1.

12. Nenadovich D. M. Gradient methods in the optimization tasks of control systems characteristics of infocommunication networks. *Civil Aviation High Technologies (Nauchnyi Vestnik MGTU GA)*. 2006, no. 107, pp. 13–136. [In Russ].

13. Ruder S. *An overview of gradient descent optimization algorithms*. DBLP computer science bibliography. Dublin, 2016, available at: <https://arxiv.org/abs/1609.04747v2>.

14. Kuznetsov S. A. *Novyshiy bol'shoy tolkovyy slovar' russkogo yazyka* [The newest large explanatory dictionary of the Russian language], Saint-Petersburg, Moscow, Norint; Ripol klasik, 2008, 1534 p.

15. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri proizvodstve, khranении i primenении vzryvchatykh materialov promyshlennogo naznacheniya»*. Utv. Pr. no. 494 ot 03.12.2020 [Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules for the production, storage and use of industrial explosives». Rostekhnadzor order of 03.12.2020 No. 494], Moscow, Rostekhnadzor, 2020, 405 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Урбаев Денис Александрович¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: urbaev2011@mail.ru,

Ахпашев Богдан Андреевич¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: bg1967@yandex.ru,

Галайко Александр Владимирович¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: Alexgal_lm@mail.ru

Новиков Айсен Андреевич¹ — студент,

¹ Сибирский федеральный университет.

Для контактов: Урбаев Д.А., e-mail: urbaev2011@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

D.A. Urbaev¹, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: urbaev2011@mail.ru,

B.A. Akhpashev¹, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: bg1967@yandex.ru,

A.V. Galaiko¹, Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, e-mail: Alexgal_lm@mail.ru,

A.A. Novikov¹, Student,

¹ Siberian Federal University,

660041, Krasnoyarsk, Russia.

Corresponding author: D.A. Urbaev, e-mail: urbaev2011@mail.ru.

Получена редакцией 29.10.2021; получена после рецензии 15.11.2022; принята к печати 10.12.2022.

Received by the editors 29.10.2021; received after the review 15.11.2022; accepted for printing 10.12.2022.

