ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
GIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2019;3:22-29

УДК 622.232.8 DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-22-29

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНЫХ БЕРМ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Д.В. Кузнецов

ООО «Полюс Проект», Красноярск, Россия, e-mail: KuznetsovDV@mail.ru

Аннотация: Представлены результаты исследований и практического опыта по обоснованию параметров транспортных берм карьеров для разработки рудных месторождений. Рассмотрена проблема выбора параметров горнотранспортного оборудования для открытых горных работ. Предложены оценивающие критерии и условия рационального перехода на комплексы оборудования меньшей мощности на стадии доработки карьеров, учитывающие текущую глубину разработки, планируемый срок доработки и место расположения перегрузочного пункта. На примере некоторых золоторудных карьеров показана взаимосвязь горнотранспортной системы и природных условий разрабатываемых месторождений, возможность и технико-экономическая эффективность добычи открытым способом из недр дополнительного объема полезного ископаемого. Определено, что основными параметрами транспортной бермы являются ширина и продольный уклон. Комплексно оценены характеристики имеющегося и перспективного оборудования, параметры вскрывающих выработок и элементов системы разработки, а также известные в мировой практике барьерные ограждения Edge Protector производства австралийской компании Safescape. Доказано, что в оцениваемых условиях это позволяет повышать технологический и организационный уровень карьерного автотранспорта, доля которого составляет более половины всех энергетических, трудовых и стоимостных затрат по добыче. Установлено, что с увеличением глубины карьеров влияние ширины и продольного уклона транспортной бермы возрастает, вместе с тем зависит от технических возможностей машин, применяемых организационно-технических решений, количества добываемых запасов полезного ископаемого, их ценности и пространственного расположения.

Ключевые слова: комплексы горнотранспортного оборудования, автосамосвал, ширина транспортной бермы, продольный уклон транспортной бермы, высота породного вала, барьерные ограждения, горная масса, вскрыша, руда, полезное ископаемое.

Для цитирования: *Кузнецов Д.В.* Обоснование параметров транспортных берм для открытой разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 3. – С. 22–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-22-29.

Justification of parameters for haulage benches in open pit ore mining

D.V. Kuznetsov

LLC «Polyus Project», Krasnoyarsk, Russia, e-mail: KuznetsovDV@mail.ru

Abstract: The article presents the research results and practical experience on justification of parameters for haulage benches in open pit ore mines. The key features of the issue are explained. The basic requirements of the existing normative documents are stated. The actual problem connected with selection of of mining haulage equipment parameters for open mining operations is discussed.

© Д.В. Кузнецов. 2019.

The evaluation criteria and conditions are proposed for rational transition to lower capacity equipment at the final stages of open pit mining with regard to the current mining depth, project schedule of mining completion and location of the rehandling point. In terms of some open pit gold mines, the article illustrates the interrelationship of mining transport system and natural mining conditions, as well as the possibility and technico-economic efficiency of extra extraction of mineral reserves by the open pit mining method. It is determined that the main parameters of a haulage bench are the width and longitudinal slope. To control these parameters during mining period, the characteristics of existing and future equipment are evaluated, the parameters of access roadways and elements of mining system are analyzed, and the world-known Edge Protector guard rails manufactured by the Australian company Safescape are discussed. It has been proved that in the given conditions, it is possible to improve technological and organizational level of open-pit motor transport, the share of which is more than half of all energy, labor and money cost of mining. It has been established that with the increase in the open pit depth, the influence of the width and longitudinal slope of the haulage benches grow and at the same time depends on the technological capacities of machines, applied organizational and technical solutions, amount of mineral reserves, their value and spatial location.

Key words: mining and transport equipment systems, dumptruck, haulage bench width, longitude slope, rock embankment height, guard rails, rock mass, overburden, ore, minerals.

For citation: Kuznetsov D. V. Justification of parameters for haulage benches in open pit ore mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:22-29. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-22-29.

Введение

Эффективность открытых горных работ во многом зависит от технологического и технического уровня карьерного автотранспорта, доля которого занимает более половины всех трудовых, энергетических и стоимостных затрат. Для ее повышения необходимо своевременное обновление автотранспортного парка, улучшение качественных характеристик автодорог и, наконец, обеспечение соответствия принятых параметров всей горнотранспортной системы карьера природным условиям месторождений. В связи с постоянным ростом глубины карьеров, снижением содержания полезных ископаемых в рудах, увеличением расстояния транспортирования горной массы, и смещением вектора развития горных работ в районы с северным климатом важность соответствия параметров оборудования и параметров карьера возрастает в большей степени. Кроме того, разработка месторождений на современном этапе предопределена условиями рынка минерального сырья, спросом на добываемые полезные ископаемые, динамикой цен, инфляционными процессами.

В настоящее время глубина целого ряда карьеров по добыче высоко котируемых на рынке алмазов и золота достигла более 600 м. В России такие карьеры разрабатывают в условиях Севера, применяют комплексы оборудования различных производителей с автосамосвалами грузоподъемностью до 220 т. Причем, несмотря на более высокую стоимость, доля машин увеличенной грузоподъемности в последнее время непрерывно растет [1]. Это объясняется, главным образом, объемами транспортной работы и сравнительно меньшими эксплуатационными затратами из-за сокращения потребления дизельного топлива и общего фонда оплаты труда водителей [2]. Однако более мощные и менее затратные машины имеют увеличенные габаритные размеры, что приводит к увеличению размеров карьерного пространства и выпол-

нению дополнительных объемов высоко затратных вскрышных работ [3, 4].

С целью определения рациональных областей применения горнотранспортного оборудования и их параметров по глубине рудных карьеров были организованы исследования. В данной статье приведены полученные результаты по обоснованию параметров транспортных берм, входящих в систему вскрывающих выработок.

Эффективное сочетание параметров карьера и горнотранспортного оборудования

Основными параметрами транспортной бермы, определяющими форму и размеры карьера, являются ширина и продольный уклон [5, 6]. На стадии проектирования их определяют для принятой модели автосамосвала, а предельно допустимый уровень устанавливают, руководствуясь нормативными документами, которые постоянно изменяют и пополняют, используя результаты соответствующих научно-исследовательских работ и практического опыта [7, 8].

Очевидным решением для оптимизации параметров транспортных берм и достижения лучших технико-экономических показателей с ростом глубины разработки является переход на новые автосамосвалы меньшей грузоподъемности. Ранее автором были исследованы условия такого перехода, классифицированы месторождения по относительной трудности разработки и выделены классы с различной глубиной карьера $H_к$:

I класс — легкоразрабатываемые, $H_к \leq 200$ м;

II класс — средней трудности разработки, $H_к = 201—320$ м;

III класс — трудноразрабатываемые, $H_к = 321—500$ м;

VI класс — очень трудноразрабатываемые, $H_к = 501—700$ м;

V класс — чрезвычайно трудноразрабатываемые, $H_к > 700$ м [9].

Исследованиями [10] установлено, что при отсутствии разведанных запасов полезного ископаемого за пределами

Минимальный уровень сокращения вскрыши для уменьшения мощности комплексов оборудования и сокращения ширины транспортной бермы при доработке карьеров
The minimum level of overburden reduction for equipment complexes power reduction and transport berm width shrinkage at pits completion

Место расположения перегрузочного пункта	Экономически целесообразный минимальный уровень сокращения вскрыши (ΔV_{min}, %) при сроке доработки карьера ($T_д$, лет)		
Месторождения II класса по трудности разработки, $H_{к1} = 201 \div 320$ м			
Перегрузочный пункт на глубине 1/3 $H_к$	32—60	28—58	27—50
Перегрузочный пункт на глубине 2/3 $H_к$	22—56	20—50	19—43
Месторождения III класса по трудности разработки, $H_{к1} = 321 \div 500$ м			
Перегрузочный пункт на глубине 1/3 $H_к$	36—63	33—55	29—51
Перегрузочный пункт на глубине 2/3 $H_к$	32—58	29—50	22—44
Месторождения IV класса по трудности разработки, $H_{к1} = 501 \div 700$ м			
Перегрузочный пункт на глубине 1/3 $H_к$	42—67	37—58	35—52
Перегрузочный пункт на глубине 2/3 $H_к$	34—64	30—50	30—44
Месторождения V класса по трудности разработки, $H_{к1} > 700$ м			
Перегрузочный пункт на глубине 1/3 $H_к$	46—79	38—61	35—52
Перегрузочный пункт на глубине 2/3 $H_к$	38—71	30—50	30—45

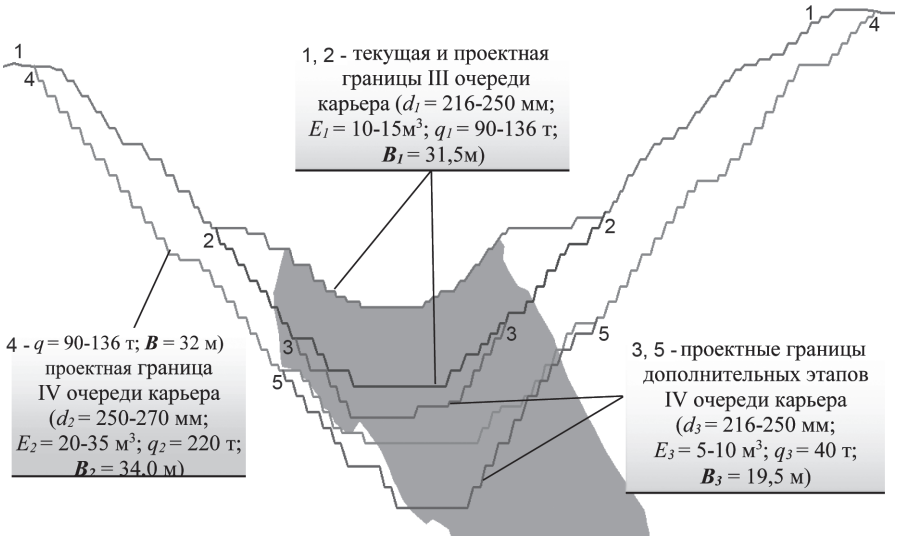

Рис. 1. Схема разработки карьера «Восточный» с различием параметров горнотранспортного оборудования и ширины транспортной бермы по глубине: 1 — 450 м; 2 — 600 м; 3 — 660 м; 4 — 710 м; 5 — 830 м

Fig. 1. The scheme of quarrying «Vostochny» pit with distinction of the mining-transport equipment parameters and transport berm width on depth: 1 — 450 m; 2 — 600 m; 3 — 660 m; 4 — 710 m; 5 — 830 m

оцениваемого карьера эффективность подобного решения зависит от минимального уровня сокращения вскрыши ΔV_{min} (таблица).

Приведенный в таблице интервал значений показателя ΔV_{min} соответствует возможным сочетаниям комплексов оборудования, представленных на рынке РФ для разработки рудных месторождений Севера. Он рассчитан по разнице затрат на основную разработку карьера и его доработку тем или иным комплексом оборудования, в зависимости от места расположения перегрузочного пункта, а также сроков разработки и доработки карьера [10].

Учитывая имеющиеся подходы и их недостатки [11, 12] для оценки эффективного изменения параметров оборудования и параметров карьера при переменных объемах полезного ископаемого, подобная оценка была выполнена по величине чистого дисконтированного дохода ЧДД, как наиболее известному критерию [13]:

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T} (R_t - З_t) \cdot \frac{1}{(1+E_{co})^t}, \text{ руб} \quad (1)$$

где T — период оценки, лет; R_t — доходы на t-ом шаге расчета, руб.; $З_t$ — затраты, на том же шаге, руб.

На примере карьера «Восточный» Олимпиадинского золоторудного месторождения была оценена эффективность дальнейшей разработки по схеме с различием параметров горнотранспортного оборудования: диаметра долота бурового станка d_1, d_2, d_3, вместимости ковша экскаватора E_1, E_2, E_3, грузоподъемности автосамосвала q_1, q_2, q_3 по глубине (рис. 1).

Проиллюстрированные здесь границы разработки IV очереди карьера установлены, исходя из влияния параметров оборудования на высоту уступа, ширину рабочей площадки при расконсервации временно нерабочего борта, ширину и уклоны транспортных берм. Имеющиеся комплексы оборудования с автосамосвалами CAT 785, для которых минимальная ширина транспортной бер-

Рис. 2. Общий вид и конструкция системы ограждений Edge Protector
Fig. 2. General view and barrier fencing design of Edge Protector

мы составляет 31,5 м, используют до глубины 600 м. Более мощные комплексы с автосамосвалами CAT 793 и соответственно увеличенной минимальной шириной транспортной бермы до 34 м применяют до глубины 710 м.

В границах карьера до глубины 660 м и 830 м дополнительно вводят комплексы с шарнирно-сочлененными автосамосвалами CAT 740. Уменьшенная ширина этих автосамосвалов и возможность преодолевать крутые транспортные уклоны позволяют в рудной части выделить два дополнительных горнотехнических этапа. В совокупности эти решения позволяют увеличить объем добываемых запасов руды, продлить срок открытой разработки месторождения на два года и при снижении пиковых календарных объемов вскрышных работ на 5 млн м^3 увеличить ЧДД более чем на 10%.

Барьерные ограждения

Управление параметрами горнотранспортного оборудования в течение срока разработки месторождения позволяет изменить пространственное положение карьера. В свою очередь, это влияет на уровень извлекаемых запасов и производственных затрат. Причем с глубиной разработки такое влияние возрастает, и предопределено как природными условиями, так и усовершенствованными техническими характеристиками машин. Известно, что усилить данный эффект и оптимизировать параметры транспортной бермы возможно за счет организации современных систем барьерных ограждений.

Одной из таких является система Edge Protector производства австралийской компании Safescape (http://www.safescape.com/). Она представляет собой совокупность скрепляемых вдоль бермы вертикальных щитов изготовленных из полиэтилена (рис. 2). В сравнении с породным валом, такая система обеспечивает большую высоту защиты при однородных прочностных свойствах и имеет небольшой вес.

Пример оценки

На примере карьера «Вернинский» по разработке Вернинского золоторудного месторождения оценена схема при неизменных диаметре бурового долота d, вместимости ковша экскаватора E, грузоподъемности автосамосвала q по глубине (рис. 3).

По данной схеме, в соответствии с проектными решениями, предусмотрена разработка до глубины 280 м и 480 м (без учета нагорной части) комплексами оборудования с автосамосвалами имеющими максимальную грузоподъемность 136 т (CAT 785D). Ширина транспортной бермы с учетом характеристик автосамосвала [14] по требованиям СП 37.13330.2012 [15] составляет 32 м (при категории I-к).

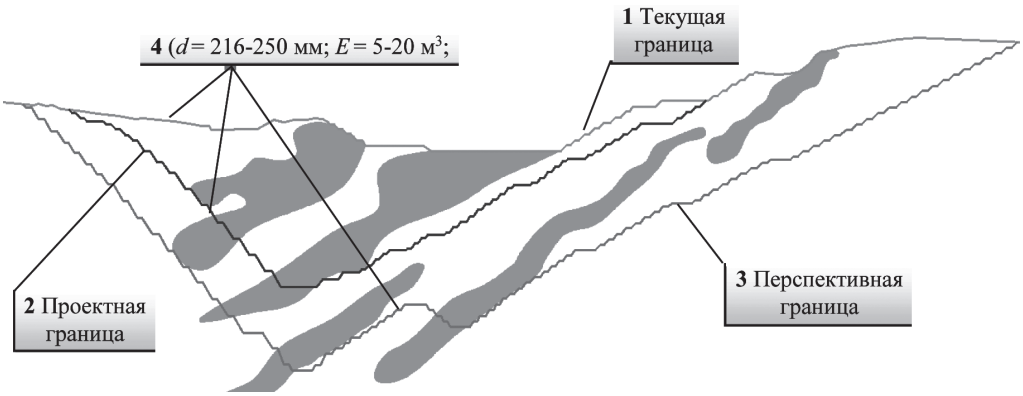

Рис. 3. Схема разработки карьера «Вернинский» при неизменных параметрах горнотранспортного оборудования и ширине транспортной бермы по глубине: 1 — 60 м; 2 — 280 м; 3 — 480 м
Fig. 3. The scheme of quarrying «Verninsky» pit at invariable parameters of the mining-transport equipment and transport berm width on depth: 1 — 60 m; 2 — 280 m; 3 — 480 m

На рис. 4 показано обоснование такого сокращения.

Минимальная нормативная ширина элементов транспортной бермы, начиная со стороны вышележащего уступа, следующая: закюветной полки и полосы безопасности — 1,0 м; водоотводной канавы — 1,5 м; первой обочины при категории I-к, II-к, III-к — 3,5 м, при категории IV-к — 2,5 м; двухполосной проезжей части при категории I-к и максимальной расчетной скорости 30,0 км/ч — 18,5 м, при категории II-к и максимальной расчетной скорости 25 км/ч — 18,0 м, при категориях III-к, IV-к и максимальной расчетной скорости 20 км/ч — 17,5 м; второй обочины — 2,0 м; основания породного вала — 4,5 м (при высоте 1,6 м); полосы выветривания — 1,0 м.

Общая ширина бермы по категориям I-к, II-к, III-к, IV-к, обусловленным объемом перевозимой горной массы, соответственно равна 32, 31,5, 31, 30 м.

Так как в условиях месторождения рассматриваемые внутрикарьерные дороги относятся к системе вскрывающих выработок, и их расположение преимущественно сосредоточено на южном борту, где по принятому проектному варианту разработки до глубины 280 м имеется руда (см. рис. 4) для оценки эффективности систем Edge Protector были смоделированы возможные варианты развития карьерного пространства. Построение выработок и схемы вскрытия вели, сохраняя почти неизменными углы откоса бортов, в двух направлениях: с поверхности до дна карьера, и с дна карьера

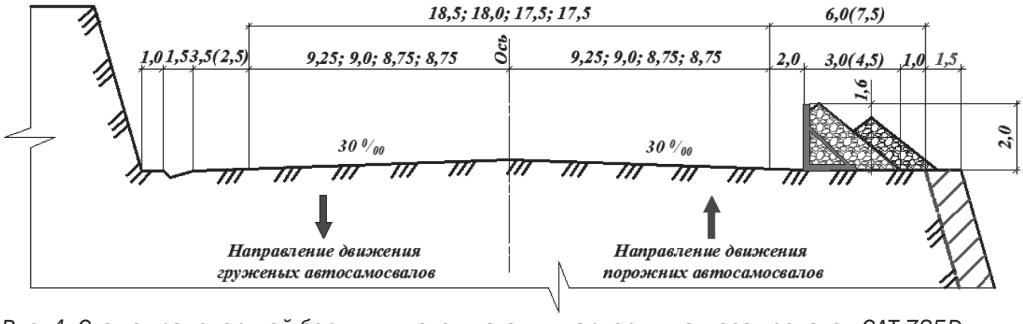

Рис. 4. Схема транспортной бермы для эксплуатации карьерных автосамосвалов CAT 785D
Fig. 4. The scheme of a transport berm for open-pit dump trucks of CAT 785D operation

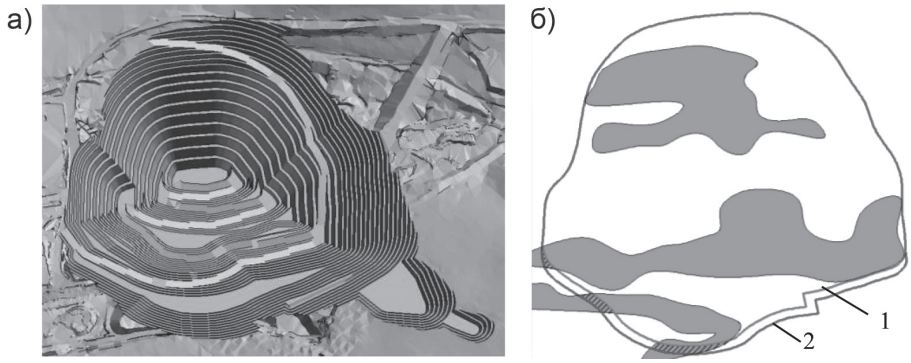

Рис. 5. Карьер «Вернинский»: вид и схема вскрытия до глубины 300 м (а); иллюстрация прироста руды на одном из горизонтов (б), 1 — граница разработки по проектному варианту, 2 — граница разработки по варианту с защитными ограждениями)

Fig. 5. «Verninsky» pit: the view and the opening scheme up to the depth of 300 m (a); b — an illustration of ore increment at one of the horizons (b), 1 — development border by design option, 2 — development border by option with safety barriers

до поверхности. При сопоставлении полученных объемов выемки золота по горизонтам разработки и в контуре карьера в целом было установлено возможное их увеличение более чем на 1 т. Общий объем горной массы в контуре карьера увеличился на 1,3 млн м^3, длина ограждений за календарный срок горных работ составила около 4,4 км. Чистый дисконтированный доход при вовлечении в более раннюю разработку части запасов вырос на 5%. На рис. 5 показан общий вид карьера со схемой вскрытия и прирост руды на одном из горизонтов.

Заключение

Изложенное позволяет заключить, что параметры транспортных берм карьеров необходимо обосновывать на стадии проектирования в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, а предельные значения принимать исходя из характеристик машин, усовершенствованных технических и организационных решений, а также их комплексного влияния на пространственное положение карьера и динамику добываемых запасов в течение срока разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Market* analysis and forecast loading & haulage equipment. The Parrker Bay Company, December, 2015. — 129 P.

2. *Kuznetsov D, Kosolapov A.* Influence of depth of ore open-cut mine on parameters of mining and transport equipment complexes // Earth and Environmental Science, 2018, no 194, pp. 1—5.

3. *Ржевский В. В.* Горные науки. — М.: Недра, 1985. — 96 с.

4. *Ржевский В. В.* Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. — М.: Либроком, 2010. — 551 с.

5. *Яковлев В. Л.* Транспорт глубоких карьеров. Состояние, проблемы, перспективы // Горное дело. — 2013. — № 1. — С. 11—18. http://www.gornoe-delo.ru/jgd/2013/2013_1.pdf.

6. *Яковлев В. Л., Яковлев В. А.* Формирование транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. — 2018. — № 6. — С. 118—126.

7. *Журавлев А. Г., Будиев А. Б.* Влияние типоразмера автосамосвала на разнос борта карьера // Проблемы недропользования. — 2018. — № 2. — С. 20—26.

8. *Забелин В. В., Зырянов И. В., Шаповалов Ю. М.* Параметры карьерных дорог // Горная промышленность. — 2015. — № 5. — С. 43.

9. *Косолапов А. И., Кузнецов Д. В.* Методология относительной оценки трудности открытой разработки месторождений в суровых климатических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 4. — С. 74—81.

10. *Кузнецов Д. В., Косолапов А. И.* Оценка целесообразности перехода на новые комплексы оборудования при доработке глубоких карьеров // Известия вузов. Горный журнал. — 2018. — № 4. — С. 4—11.

11. *Комленович Д.* Многокритериальный подход к выбору горного оборудования // Горное дело. — 2017. — № 2. — С. 10—41. http://www.gornoe-delo.ru/jgd/2017/2017_2.pdf

12. *Yavuz M.* Equipment selection based on the AHP and Yager's method // Journal of the southern african institute of mining and metallurgy. 2015. Pp. 425—433.

13. *Burt C., Cacceta L.* Equipment selection for mining: with case studies, 2018. 155 p.

14. *СП 37.13330.2012*. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91 М.: Минрегион России, 2012.

15. *Caterpillar* performance handbook 47. U.S.A.: Caterpillar, 2017. 2440 p. ГИАБ

REFERENCES

1. *Market analysis and forecast loading & haulage equipment*. The Parrker Bay Company, December, 2015. 129 P.

2. Kuznetsov D, Kosolapov A. Influence of depth of ore open-cut mine on parameters of mining and transport equipment complexes. *Earth and Environmental Science*, 2018, no 194, pp. 1—5.

3. Rzhevskiy V. V. *Gornye nauki* [Mining sciences], Moscow, Nedra, 1985, 96 p.

4. Rzhevskiy V. V. *Otkrytye gornye raboty*. Ch. 2. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya [Open mining operations. Part 2.Technology and complex mechanization], Moscow, Librokom, 2010, 551 p.

5. Yakovlev V. L. Transport of deep pits. State, problems, prospects. *Gornoe delo*. 2013, no 1, pp. 11—18. http://www.gornoe-delo.ru/jgd/2013/2013_1.pdf. [In Russ].

6. Yakovlev V. L., Yakovlev V. A. Open pit transport systems formation with the account of adaptation to deep-lying complex-structured deposits development changing conditions. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2018, no 6, pp. 118—126. [In Russ].

7. Zhuravlev A. G., Budiev A. B. Influence of the dump truck type and size on the diversity of the quarry sides. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2018, no 2, pp. 20—26. [In Russ].

8. Zabelin V. V., Zyryanov I. V., SHapovalov Yu. M. Parameters of career roads. *Gornaya promyshlennost'*. 2015, no 5, pp. 43. [In Russ].

9. Kosolapov A. I., Kuznetsov D. V. Methodology of open-cast fields mining relative evaluation difficulty in severe climatic conditions. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 4, pp. 74—81. [In Russ].

10. Kuznetsov D. V., Kosolapov A. I. Feasibility study of transition to new mining and conveyor equipment complexes at deep pits further development. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2018, no 4, pp. 4—11. [In Russ].

11. Komlenovich D. Multiobjectiveapproach to the choice of the mountain equipment. *Gornoe delo*. 2017, no 2, pp. 10—41. http://www.gornoe-delo.ru/jgd/2017/2017_2.pdf. [In Russ].

12. Yavuz M. Equipment selection based on the AHP and Yager's method. *Journal of the southern african institute of mining and metallurgy*. 2015. Pp. 425—433.

13. Burt C., Cacceta L. *Equipment selection for mining: with case studies*, 2018. 155 p.

14. SP 37.13330.2012. Promyshlennyy transport. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.05.07-91 [SP 37.13330.2012. Industrial transport. Updated version of SNiP 2.05.07-91], Moscow, Minregion Rossii, 2012.

15. *Caterpillar performance handbook* 47. U.S.A.: Caterpillar, 2017. 2440 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кузнецов Дмитрий Владимирович — кандидат технических наук,
ведущий инженер, ООО «Полюс Проект», e-mail: KuznetsovDV@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

D.V. Kuznetsov, Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,
LLC «Polyus Project», 660028, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: KuznetsovDV@mail.ru.