

Оригинальная статья / Original article

УДК 622.271.1

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2019-42-1-55-63>

Обоснование глубины вскрышных бульдозерных работ при разработке глубоких россыпей

© Б.Л. Тальгамер, Е.А. Дорош

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме: Цель данного исследования заключалась в разработке методики определения экономически целесообразной границы применения бульдозерного способа вскрышных работ для различных горнотехнических условий. В настоящее время горнотехнические условия вовлекаемых в эксплуатацию россыпей постепенно ухудшаются, постоянно увеличивается глубина вскрышных работ. Все чаще при удалении торфов применяют комбинированный способ вскрышных работ с выемкой верхней части бульдозерами, а нижней – экскаваторами. При этом вертикальная граница между этими способами часто устанавливается без достаточного обоснования. Определение рационального соотношения объемов работ, выполняемых бульдозерами и экскаваторами, позволит решить задачу снижения затрат при производстве вскрышных работ на глубоких россыпных месторождениях. В настоящей статье представлена методика экономического обоснования глубины вскрышных работ, осуществляемых бульдозером, с учетом себестоимости выемочных работ, выполняемых разным оборудованием. Использован графоаналитический метод исследования. Разработаны номограммы для определения себестоимости вскрышных работ для бульдозера и экскаватора в зависимости от параметров россыпи и рельефа прилегающей поверхности, которые позволяют оперативно устанавливать экономически целесообразную границу применения бульдозерного способа вскрышных работ. Предложенная методика позволяет также обоснованно распределять объемы торфов, складированных на разных бортах выработки. Таким образом, применение данной методики позволяет снизить расходы на производство вскрышных работ при разработке глубоких россыпей, когда используется комбинированный способ вскрышных работ с выемкой верхней части бульдозерами, а нижней – экскаваторами.

Ключевые слова: россыпные месторождения, вскрышные работы, бульдозеры, экскаваторы, автотранспорт, себестоимость, распределение объемов торфов

Информация о статье: Дата поступления 12 февраля 2019 г.; дата принятия к печати 14 марта 2019 г.; дата онлайн-размещения 28 марта 2019 г.

Для цитирования: Тальгамер Б.Л., Дорош Е.А. Обоснование глубины вскрышных бульдозерных работ при разработке глубоких россыпей. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых.* 2019. Т. 42, № 1. С. 55–63. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-1-55-63.

Justification of bulldozer stripping work depth when developing deep placers

© Boris L. Talgamer, Egor A. Dorosh

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract: The purpose of this study is development of a method for determining the economically feasible boundary of the use of a bulldozer stripping method for various mining conditions. Mining and technical conditions of the placers developed today are gradually deteriorating as the depth of stripping works is constantly increasing. More and more often after peat removal a combined method of stripping works is applied where the upper part is mined by bulldozers and the lower one by stripping shovels. In this case, the vertical boundary between these methods is often established without sufficient justification. Determination of the rational correlation ratio of the amount of works performed by bulldozers and stripping shovels will allow to solve the problem of reducing the costs of stripping works at deep alluvial deposits. This paper presents a methodology for the economic substantiation of the depth of bulldozer stripping works taking into account the cost of stripping works performed by different equipment. The study uses a grapho-analytical method. Nomograms have been developed for determining the cost of stripping

operations for a bulldozer and a stripping shovel depending on placer parameters and the relief of the adjacent surface, which enable prompt determination of an economically feasible boundary of stripping shovel mining application. The proposed methods also allow a reasonable distribution of peat volumes stored on different sides of the mine. Therefore, the use of this procedure will reduce the cost of stripping works in the development of deep alluvial deposits when the combined stripping method is used including the removal of the upper part by bulldozers, and the lower one by stripping shovels.

Keywords: placers, stripping works, bulldozers, stripping shovels, motor transport, cost price, distribution of peat volumes

Information about the article: Received February 12, 2019; accepted for publication March 14, 2019; available online March 28, 2019.

For citation: Talgamer B.L., Dorosh E.A. Justification of bulldozer stripping work depth when developing deep placers. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2019, vol. 42, no. 1, pp. 55–63. (In Russ.) DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-1-55-63.

Введение

При постоянно увеличивающихся темпах добычи золота из коренных месторождений доля золотодобычи из россыпей в России остается еще достаточно высокой и составляет около 25 %¹ [1]. При этом количество еще не вовлеченных в эксплуатацию и находящихся в нераспределенном фонде россыпных месторождений в Российской Федерации превышает четыре тысячи [2]. Однако горнотехнические условия разработки россыпей неуклонно продолжают ухудшаться, в том числе увеличивается глубина залегания запасов, растут мощности торфов и коэффициент вскрыши [2–4]. Широко используемый бульдозерный способ ведения вскрышных работ не обеспечивает доступ к полезному ископаемому, и большая часть торфов на россыпях в настоящее время удаляется экскаваторами. Вместе с тем при небольшой мощности торфов бульдозерный способ ведения вскрышных работ остается наиболее эффективным и экономичным [5].

На глубоких россыпных месторождениях, которые разрабатываются открытым способом, используются различные технологические схемы ведения вскрышных работ, и чаще всего бульдозерно-экскаваторные. Практика показывает, что при применении комбинации различного вскрышного оборудования для бульдозера принимают традиционно установившуюся границу вскрышных работ до 5–6 м от поверхности² [6], а остальной объем нижележащих торфов разрабатывается экскаваторно-автотранспортным комплексом (рис. 1). При этом при использовании бульдозеров небольшой мощности предельную глубину вскрышных пород на достаточно широких россыпях рекомендуется принимать не более 1,5 м³. При ширине полигона 40–50 м рекомендуемая глубина вскрышных работ, выполняемых бульдозером, составляет 3–4 м [7].

Данный подход к определению границы перехода от бульдозерных вскрышных работ к экскаваторному способу не всегда обоснован, так как уклон

¹О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 году: гос. докл. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2018. / On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2016: state report. Moscow: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation Publ., 2018.

²Березин В.П., Лешков В.Г., Мацуев А.П., Потёмкин С.В. Справочник по разработке россыпей. М.: Недра, 1973. 592 с. / Berezin V.P., Leshkov V.G., Matsuev A.P., Potemkin S.V. Handbook on placer development. Moscow: Nedra Publ., 1973. 592 p.

³Там же. / Ibidem.

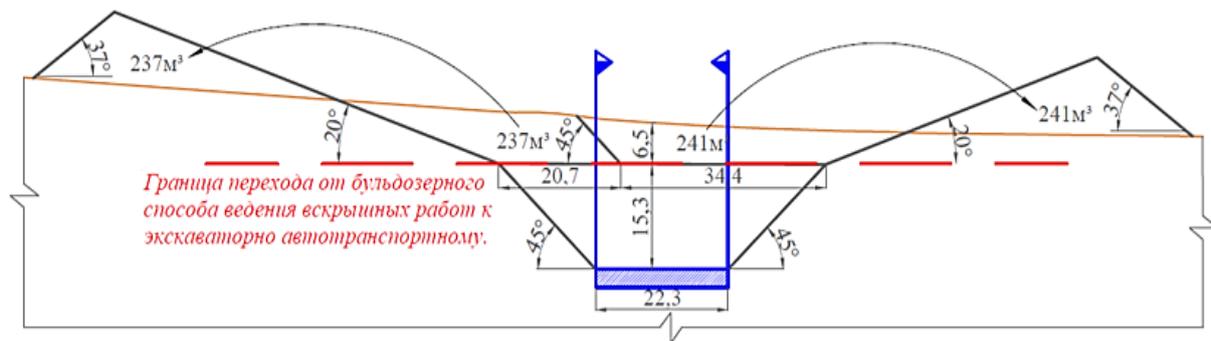


Рис. 1. Схема распределения вскрышных пород на бульдозерный и экскаваторный способы разработки по буровой линии 1
Fig. 1. Diagram of overburden rock distribution by bulldozer and stripping shovel development methods along the drilling line 1

прилегающей поверхности, ширина полигона и другие параметры россыпи существенно различаются, что требует более детального расчета рациональной глубины бульдозерной разработки торфов.

С увеличением глубины вскрышных работ, осуществляемых бульдозерами, растет длина транспортирования и высота подъема пород на отвалы и, соответственно, снижается производительность оборудования, увеличиваются объемы вскрыши за счет необходимости выколаживания бортов для создания условий выезда бульдозеров на отвалы, в результате чего растет себестоимость работ. Одновременно по мере увеличения мощности вскрышного уступа, разрабатываемого бульдозерным способом, будет уменьшаться высота нижерасположенного экскаваторного уступа с соответствующим изменением себестоимости вскрышных работ, выполняемых экскаваторно-автотранспортным комплексом. Поэтому обоснование рационального соотношения объемов работ, выполняемых бульдозерами и экскаваторами, позволит существенно улучшить экономические показатели вскрышных работ.

Целью настоящей статьи является определение экономически обоснованной глубины разработки торфов бульдозерным способом для различных горно-технических условий. Для достижения поставленной цели необходимо установить

зависимости производительности бульдозера от глубины ведения вскрышных работ, ширины разрабатываемого блока и уклона прилегающей поверхности, а также зависимость между производительностью экскаватора и высотой вскрышного уступа. На основании указанных зависимостей следует разработать методику расчета, которая позволяла бы оперативно и эффективно выбирать границу перехода от бульдозерного способа ведения вскрышных работ к экскаваторно-автотранспортному.

Методика исследований

На основании выполненных расчетов по известным формулам [8–10] отстраивается номограмма, на которой приводятся зависимости дальности транспортирования пород и производительности бульдозера от глубины разработки при различных углах прилегающей (подотвальной) поверхности и разной ширине россыпи (рис. 2).

По установленным для конкретных условий зависимостям производительности бульдозера от горно-технических параметров с учетом средней стоимости машино-часа его работы определяется себестоимость вскрышных работ при разной мощности удаляемых торфов.

Аналогичные номограммы были построены для ширины выработки по дну В, равной 10, 50, 75 и 100 м.

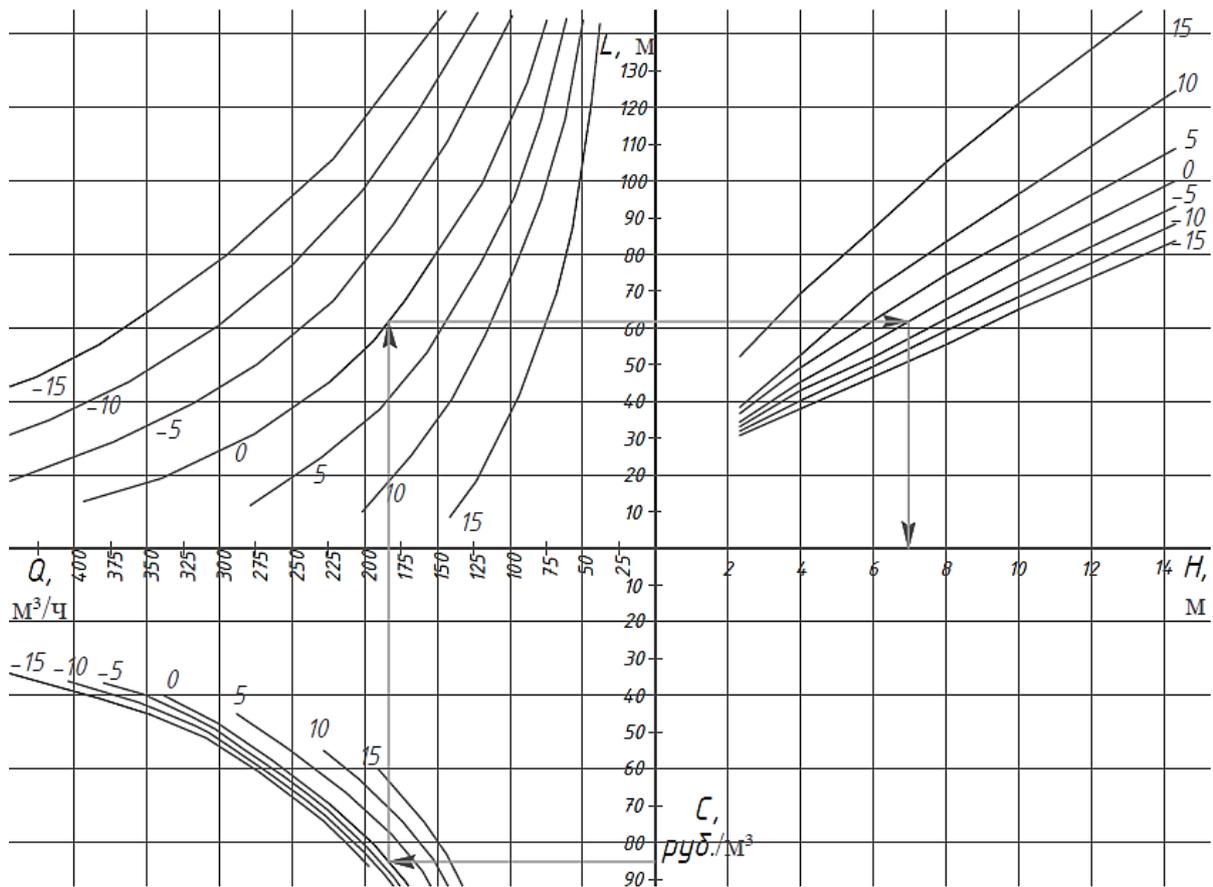


Рис. 2. Номограмма для определения себестоимости вскрышных работ, осуществляемых бульдозером ЧЕТРА Т35.01, при ширине вскрышной выработки по дну B , равной 25 м, и уклонах подотвальной поверхности от -15° до $+15^\circ$:
 H – глубина вскрышных работ, м; L – среднее расстояние транспортирования пород бульдозером, м;
 Q – производительность бульдозера, м³/ч; C – себестоимость вскрышных работ, руб./м³

Fig. 2. Nomogram for determining the cost of stripping operations performed by the CHETRA T35.01 bulldozer when the strip mining width across the bottom B is 25 m and on the slopes of the underspoil surface it is from -15° to $+15^\circ$:
 H – stripping work depth, m; L – average distance of rock transportation by a bulldozer, m;
 Q – bulldozer performance, m³/h; C – cost price of stripping works, rubles/m³

Данные номограммы (см. рис. 2) позволяют определить экономически обоснованную границу перехода от бульдозерного способа ведения вскрышных работ к экскаваторному для различных горнотехнических условий залегания запасов. Для этого необходимо предварительно сопоставить себестоимость экскаваторно-автотранспортного и бульдозерного способов ведения вскрышных работ в зависимости от мощности разрабатываемых уступов и условий отвалообразования. По результатам сопоставления с учетом равенства затрат на выемку

торфов экскаваторно-автотранспортным и бульдозерным способами устанавливается целесообразная глубина вскрышных работ, осуществляемых бульдозером.

Результаты исследований

В соответствии с вышеизложенной методикой обоснования глубины бульдозерной разработки торфов рассмотрим пример обоснования технологической схемы вскрышных работ для одного из блоков глубокозалегающей россыпи.

Для этого блока, где намечен комбинированный способ вскрышных работ, были установлены зависимости дальности

сти транспортирования пород от высоты экскаваторного уступа и соответствующей производительности выемочно-транспортного оборудования, а также себестоимости вскрыши с учетом производительности экскаватора (рис. 3). Расчеты выполнены при условии использования экскаватора и двух автосамосвалов. Для конкретного примера нарастание мощности разрабатываемого экскаватором уступа обуславливало увеличение расстояния транспортирования вскрышных пород в отвалы в связи с увеличением длины выездной траншеи

(рис. 4). В других условиях эта зависимость может быть обратной.

По полученной номограмме (см. рис. 3) определяется себестоимость выемки пород экскаваторным способом. К найденному значению прибавляется себестоимость транспортирования торфов автосамосвалами. Таким образом определяется себестоимость экскаваторно-автотранспортного способа разработки торфов. Полученное значение отмечается на номограммах для определения себестоимости вскрышных работ (см. рис. 2), осуществляемых бульдозером,

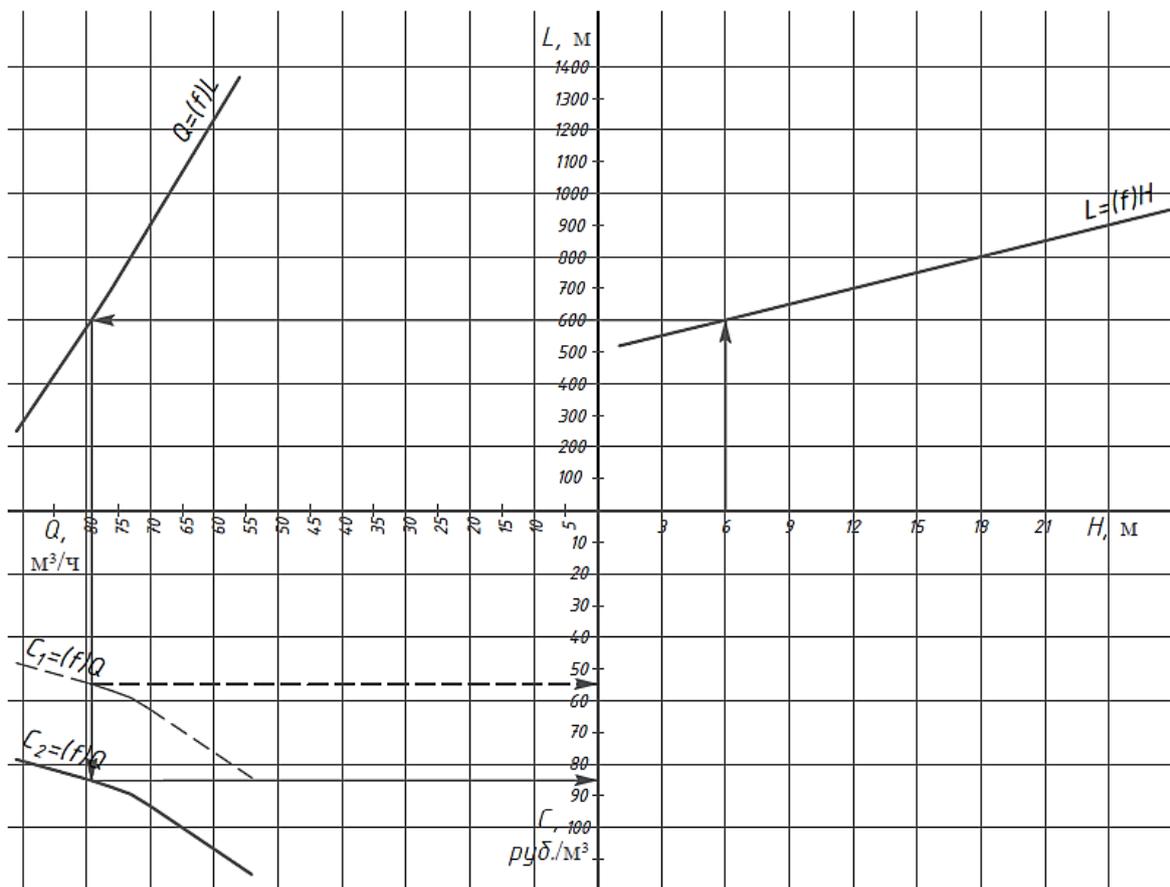


Рис. 3. Номограмма для определения себестоимости вскрышных работ, выполняемых экскаватором:

H – высота уступа, м; L – расстояние транспортирования пород автосамосвалом до отвала, м;
 Q – производительность экскаватора, м³/ч; C_1 – себестоимость экскаваторных работ, руб./м³;
 C_2 – себестоимость экскаваторно-автотранспортного комплекса, руб./м³

Fig. 3. Nomogram for cost determination of stripping works performed by a stripping shovel:

H – bench height, m; L – distance of rock transportation by a dump truck to the dump, m;
 Q – stripping shovel performance, m³/h; C_1 – cost of stripping shovel works, rubles/m³;
 C_2 – cost of the stripping shovel-motor transportation complex, rubles/m³

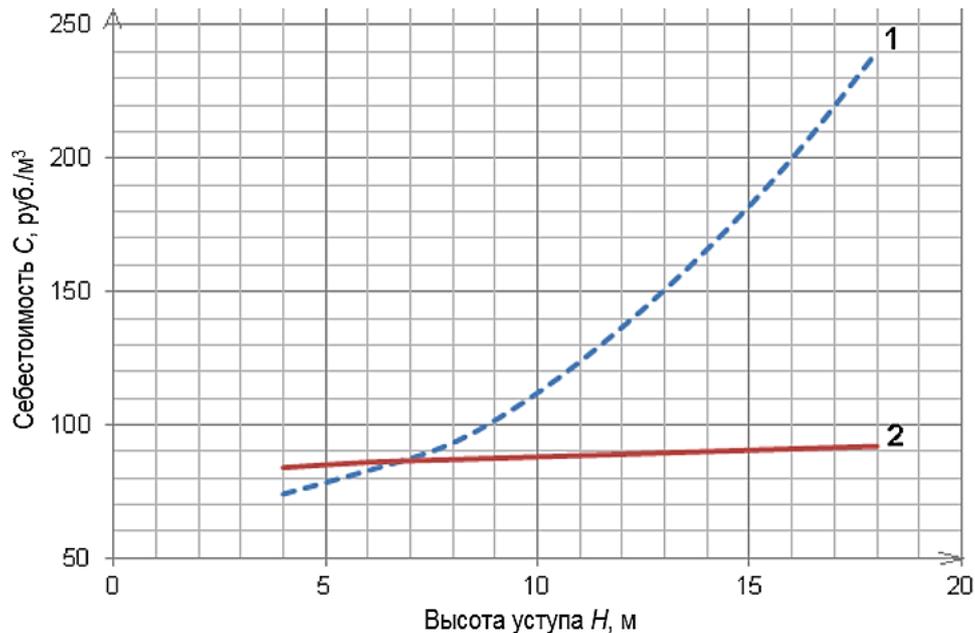


Рис. 4. График зависимости себестоимости вскрышных работ от высоты разрабатываемого уступа:

1 – себестоимость бульдозерного способа вскрышных работ;
2 – себестоимость экскаваторно-автотранспортного способа вскрышных работ

Fig. 4. Graph of stripping work cost dependence on the height of the developed bench:

1 – cost of the bulldozer method of stripping works;
2 – cost of the shovel-motor transport method of stripping

как граница, до которой эффективно использовать бульдозерный способ разработки торфов. При высоте уступа 6 м себестоимость экскаваторных работ составляет 55 руб./м³, к найденному значению прибавляется себестоимость транспортирования торфов автосамосвалами до внешнего отвала, при расстоянии транспортирования пород до отвала, равном 600 м, она составит 30 руб./м³. В данных условиях себестоимость экскаваторно-автотранспортного способа разработки торфов в целом составит 85 руб./м³. Чтобы установить глубину разработки торфов бульдозерным способом при различных горнотехнических условиях, на основании полученных выше номограмм (см. рис. 2) отстраивается график (рис. 5), используя который можно не только определять границу бульдозерных работ, но и распределять объемы торфов, складываемых на левом или

правом борте выработки (в зависимости от уклона подотвальной поверхности).

С увеличением высоты экскаваторного уступа (больше 6 м) себестоимость бульдозерных работ будет существенно ниже, чем экскаваторных, а с уменьшением высоты – наоборот. Общие затраты на вскрышные работы при этом должны быть минимальными.

Чтобы определить границу бульдозерных работ, по графику (см. рис. 5) на оси абсцисс откладывается половина ширины бульдозерной выработки по дну (на левую и правую стороны) таким образом, чтобы получить на оси ординат близкие по значению величины экономически обоснованной границы перехода от бульдозерного способа ведения вскрышных работ к экскаваторно-автотранспортному. Используя полученный график, можно определить границу перехода от бульдозерного способа ведения вскрышных

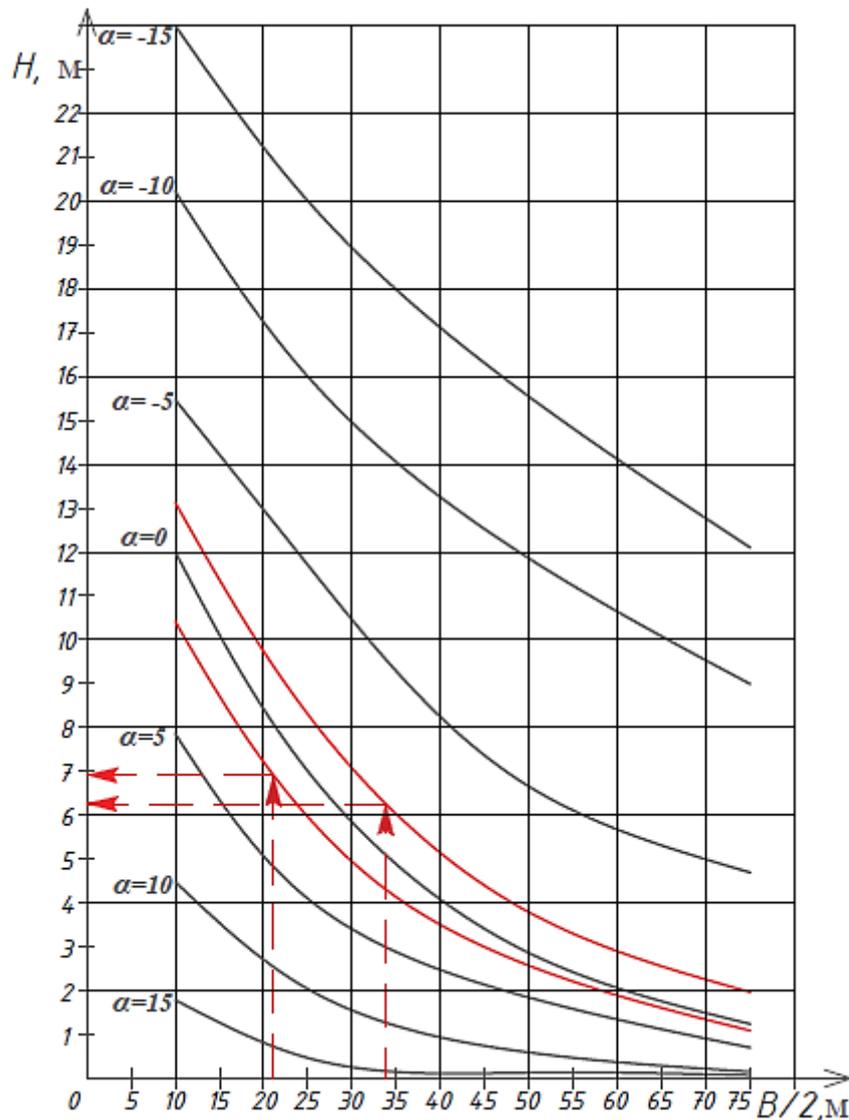


Рис. 5. График зависимости глубины разработки торфов бульдозерным способом от ширины блока и уклона прилегающей поверхности для разреза по буровой линии 1:
 H – граница перехода от бульдозерного способа разработки к экскаваторно-автотранспортному, м;
 $B/2$ – половина ширины вскрышной выработки по дну, м;
 α – угол наклона прилегающей поверхности, град.

Fig. 5. Dependence graph of peat development depth by the bulldozer method and the width of the block and the slope of the adjacent surface for the cut along the drilling line 1:
 H – border of transition from the bulldozer mining method to the strip shovel-motor transport method, m;
 $B/2$ – half of the stripping work width along the bottom, m;
 α – inclination angle of the adjacent surface, degrees

работ к экскаваторно-автотранспортному для конкретного блока (см. рис. 1), которая по буровой линии 1 составила в среднем 6,5 м. Данное значение установлено на основании того, что при ширине бульдозерной выработки по дну 34,4 м для торфов правого борта экономически обоснованная глубина ведения вскрыш-

ных работ составила 6,2 м при уклоне прилегающей (подотвальной) поверхности α , равном -2° . Для торфов левого борта при ширине бульдозерной выработки по дну 20,7 м экономически обоснованная глубина ведения вскрышных работ составила 6,9 м при уклоне прилегающей (подотвальной) поверхности α ,

равном 2°. Данные значения используются для определения границы перехода от бульдозерного способа ведения вскрышных работ к экскаваторно-автотранспортному (см. рис. 5). Таким образом, благодаря установленным зависимостям можно определить экономически обоснованную границу между объемами торфов, складываемых на правом и левом бортах выработки. Для рассмотренного примера на правом борте будут складываться породы в объеме 241 м³, на левом – в объеме 237 м³ (см. рис. 1).

Заключение

Представленная методика расчета позволяет оперативно и обоснованно выбирать границу перехода от бульдозерного способа ведения вскрышных работ к

экскаваторно-автотранспортному при различных горнотехнических условиях залегания запасов и разном горнотранспортном оборудовании. Кроме этого, описанная методика расчета дает возможность экономически обоснованно распределять объемы торфов, складываемых на разных бортах выработки.

Данную методику рекомендуется использовать для определения границы перехода от бульдозерного способа ведения вскрышных работ к экскаваторному при большом количестве блоков на месторождениях с разными горнотехническими условиями залегания запасов при наличии конкретного горнотранспортного оборудования.

Библиографический список

1. Итоги золотодобывающей отрасли в 2017 году // Золото и технологии. 2018. № 1 (39). С. 6–13.
2. Лунышин П.Д. Золотые недра России // Золотодобыча. 2013. № 8. С. 32–34.
3. Тальгамер Б.Л., Ершов В.А., Тютрин С.Т. Состояние и перспективы развития дражной золотодобычи в Иркутской области // Золотодобыча. 2016. № 12 (217). С. 11–14.
4. Суренков В.С. Сырьевая база золотодобывающей промышленности России: состояние, проблемы и возможные пути развития // Рациональное освоение недр. 2017. № 3. С. 16–19.
5. Емельянов А.И. Технология бульдозерной разработки вечномерзлых россыпей. М.: Недра, 1976. 287 с.
6. Костромитинов К.Н., Лысков В.М. Оценка эффективности обработки месторождений драгоценных металлов. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2015. 530 с.
7. Шорохов С.М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. М.: Недра, 1973. 768 с.
8. Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений. М.: Горная книга, 2007. 906 с.
9. Томаков П.И., Наумов И.К. Технология, механизация и организация открытых горных работ. М.: Недра, 1986. 312 с.
10. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч. 1. М.: Недра, 1985. 509 с.

References

1. Results of the gold mining industry in 2017. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and Technologies], 2018, no. 1 (39), pp. 6–13. (In Russ.).
2. Lunyashin P.D. Gold resources of Russia. *Zolotodobycha* [Gold Mining], 2013, no. 8, pp. 32–34. (In Russ.).
3. Tal'gamer B.L., Ershov V.A., Tyutrin S.T. State and development prospects of dredging gold production in the Irkutsk region. *Zolotodobycha* [Gold Mining], 2016, no. 12 (217), pp. 11–14. (In Russ.).
4. Surenkov V.S. Raw materials base of the Russian gold mining industry: the state, problems and ways of development. *Ratsional'noe osvoenie nedr* [Mineral Mining & Conservation], 2017, no. 3, pp. 16–19. (In Russ.).
5. Emel'yanov A.I. *Tekhnologiya bul'dozernoi razrabotki vechnomerzlykh rossypei* [Bulldozer development technology of permafrost placers]. Moscow: Nedra Publ., 1976, 287 p. (In Russ.).
6. Kostromitinov K.N., Lyskov V.M. *Otsenka effektivnosti otrabotki mestorozhdenii dragotsennykh metallov* [Evaluation of mining efficiency of precious metal deposits]. Irkutsk: Baikal State University of Economics and Law Publ., 2015, 530 p. (In Russ.).
7. Shorokhov S.M. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya razrabotki rossypnykh mestorozhdeniya* [Technology and complex mechanization of placer deposit development]. Moscow: Nedra Publ., 1973, 768 p. (In Russ.).

8. Leshkov V.G. *Razrabotka rossypanykh mestorozhdenii* [Placer development]. Moscow: Gornaya kniga Publ., 2007, 906 p. (In Russ.).

9. Tomakov P.I., Naumov I.K. *Tekhnologiya, mekhanizatsiya i organizatsiya otkrytykh gornykh rabot* [Technology, mechanization and organization

of open pit mining]. Moscow: Nedra Publ., 1986, 312 p. (In Russ.).

10. Rzhetskii V.V. *Otkrytye gornye raboty* [Open cast mining]. Part 1. Moscow: Nedra Publ., 1985, 509 p. (In Russ.).

Критерии авторства

Тальгамер Б.Л., Дорош Е.А. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

Тальгамер Борис Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых Института недропользования Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: talgamer@istu.edu, go_gor@istu.edu

Дорош Егор Алексеевич, студент Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск, Российская Федерация; e-mail: egor.dorosh@rambler.ru

Authorship criteria

Boris L. Talgamer, Egor A. Dorosh have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Information about the authors

Boris L. Talgamer, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Mineral Deposit Development of the Institute of Subsoil Use of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: talgamer@istu.edu, go_gor@istu.edu

Egor A. Dorosh, Student of Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation; e-mail: egor.dorosh@rambler.ru