

УДК 622.271
DOI: 10.18799/24131830/2024/10/4700
Шифр специальности ВАК: 2.8.8

Блоковый способ отработки карьерных полей как инструмент снижения воздействия на окружающую среду в условиях интенсификации производства

А.В. Селюков, А.В. Герасимов[✉]

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Россия, г. Кемерово

[✉]and-95.2010@mail.ru

Аннотация. Актуальность. Интенсификация открытых горных работ в угольных бассейнах Российской Федерации сопровождается ростом негативного воздействия на окружающую среду. Непосредственно в Кузбассе окружающая среда подвергается воздействию угольной промышленности, особенно при ведении открытых работ с применением углубочных систем разработки с внешним отвалообразованием, что сопровождается изъятием большого количества ненарушенных земель. Известный в горном деле блоковый способ отработки карьерных полей малочисленно реализован на действующих и проектируемых карьерных полях. Генеральной линией его применения является отсутствие единого подхода к проектированию параметров блоков, в том числе к эколого-экономической оценке воздействия данного технологического решения на окружающую среду. **Цель.** Снижение воздействия на окружающую среду горнодобывающими предприятиями при обоснованных параметрах блоков для разработки карьерных полей перспективных наклонных и крутопадающих угольных залежей. **Методы.** Системное обобщение фактического положения горных работ на разрезах при блоковом способе отработки карьерных полей, метод вариантов и технико-экономического моделирования с использованием электронных таблиц. **Результаты и выводы.** Предложены эколого-экономические критерии оценки применения блокового способа отработки карьерных полей, которые позволяют исследовать закономерности изменения экологических показателей. На примере разреза «Краснобродский» рассчитаны затраты по экологическим платежам за пользование земельными ресурсами, выбросы и пыление по двум вариантам, отличным от проектной документации. По результатам расчета доказана эффективность применения блокового порядка отработки перспективных угольных залежей, позволяющая снижать затраты за воздействие на окружающую среду на 22,5 и 63 %, соответственно, при изменении длин первоначального блока по дну с 2,2 до 1,4 км. Из чего следует, что совокупные эколого-экономические показатели позволяют в полной мере оценить целесообразность применения методики расчета параметров блоков, что в целом отражается в снижении затрат за негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: карьерные поля, перспективные угольные залежи, блоковый способ, параметры, эколого-экономическая эффективность

Для цитирования: Селюков А.В., Герасимов А.В. Блоковый способ отработки карьерных полей как инструмент снижения воздействия на окружающую среду в условиях интенсификации производства // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 10. – С. 178–188. DOI: 10.18799/24131830/2024/10/4700

UDC 622.271
DOI: 10.18799/24131830/2024/10/4700

Block method of mining quarry fields as a tool to reduce environmental impact in conditions of intensification of production

A.V. Selyukov, A.V. Gerasimov[✉]

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

[✉]and-95.2010@mail.ru

Abstract. Relevance. The intensification of open-pit mining in the coal basins of the Russian Federation is accompanied by an increase in negative impact on the environment. Directly in Kuzbass, the environment is exposed to the impact of the coal industry, especially when conducting open-pit mining using deep mining systems, with external dumping, which is accompanied by the withdrawal of a large amount of undisturbed land. The block method of mining quarry fields, well known in mining, has been rarely implemented in existing and planned quarry fields. The general line of its application is the lack of a unified approach to the design of block parameters, including environmental and economic assessment of the impact of this technological solution on the environment. **Aim.** Reduce environmental payments of mining enterprises with justified parameters of blocks for the development of quarry fields of promising inclined and steeply dipping coal deposits. **Methods.** Systematic generalization of the actual situation of mining operations in open-pit mines using the block method of mining quarry fields, the method of options and technical and economic modeling using spreadsheets. **Results and conclusions.** The authors have proposed the ecological and economic criteria for assessing the application of the block method of quarry field development. This allows us to study the patterns of change in environmental indicators. Using the example of the Krasnobrodskoe open-pit mine, the costs of environmental payments for the use of land resources, emissions and dusting are calculated for two options different from the design documentation. Based on the calculation results, the authors proved the efficiency of applying the block procedure for developing promising coal deposits, allowing us to reduce the costs for environmental impact by 22.5 and 63%, respectively, when changing the length of the initial block along the bottom from 2.2 to 1.4 km. From which it follows that the combined ecological and economic indicators allow us to fully assess the feasibility of applying the method for calculating block parameters, which is generally reflected in reduction in the costs for negative impact on the environment.

Keywords: quarry fields, promising coal deposits, block method, parameters, ecological and economic efficiency

For citation: Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Block method of mining quarry fields as a tool to reduce environmental impact in conditions of intensification of production. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, vol. 335, no. 10, pp. 178–188. DOI: 10.18799/24131830/2024/10/4700

Введение

В 2020 г. Правительством Российской Федерации утверждена программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г. [1]. Данная программа предусматривает два сценария развития угольной промышленности, непосредственно открытыми горными работами, в зависимости от уровня добычи к 2035 г.: консервативный – 390,0 млн т; оптимистический – 554,0 млн т. С учетом опубликованных данных [1] добыча по Кузбассу должна составить по вышеуказанным вариантам 48,4 и 44,5 % в общей добыче Российской Федерации, что соответствует уровню добычи открытым способом в 2035 г. по вариантам (рис. 1): консервативный – 188,0 млн т; оптимистический – 246,5 млн т.

На основании представленных на рис. 1 данных, с ростом годового объема добычи угля происходит увеличение отработки вскрышных пород, следовательно, для обеспечения установленных показателей при существующих системах открытой разработки необходимо будет изыскивать новые площади для развития фронта горных работ, строительства внешних отвалов, объектов инфраструктуры и т. п. Согласно данным, изложенным в проектной документации угольных разрезов, производственная мощность предприятий Кузбасса изменяется от 500 до 15000 тыс. т/год при среднем значении в 3600 тыс. т/год и среднем коэффициенте вскрыши в $11,9 \text{ м}^3/\text{т}$.

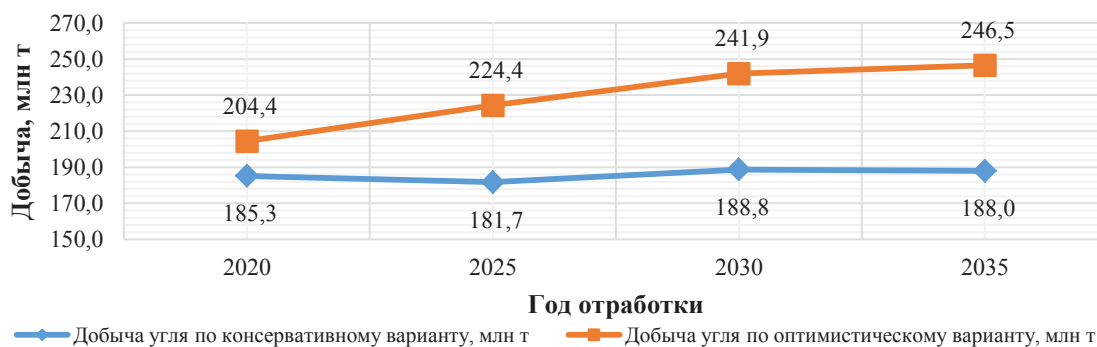


Рис. 1. Прогнозное изменение уровня добычи угля открытым способом по Кузбассу, согласно программе развития угольной промышленности России на период до 2035 г.

Fig. 1. Forecasted change in the level of open-pit coal mining in Kuzbass, according to the program for the development of the coal industry in Russia for the period up to 2035

Согласно исследованиям [2–4], внешние отвалы составляют порядка 67 %, внутренние – 33,0 %. При средневзвешенных объемах внешних отвалов и площадей, занимаемых этими отвалами, объем вскрыши, приходящийся на 1,0 м², составит 84,4 м³. По итогам прогноза, к концу 2035 г. минимальные площади земель, нарушенных внешними отвалами, составят 70,2 млн м².

В связи с этим необходимость разработки землесберегающих технологий отработки месторождений твердых полезных ископаемых является актуальной задачей для горнодобывающей промышленности и входит в перечень актуальных технологий Российской Федерации.

Объекты и методика исследования

Согласно анализу проектной документации по угольным разрезам Кемеровской области, порядок отработки оказывает основное влияние на изъятие земель под промышленное назначение. Подавляющее большинство угольных разрезов Кузбасса применяет углубочную продольную одно- или двухбортную систему разработки (по классификации, предложенной академиком В.В. Ржевским) [5]. При отработке наклонных и крутопадающих угольных залежей использование углубочных систем открытой разработки приводит к необходимости размещения пород вскрыши на внешних отвалах [4]. Как видно из графика на рис. 2, площади, занимаемые внешними отвалами, значительно превышают площади, занимаемые внутренними отвалами, а в некоторых случаях о внутренних отвалах речи и не идет. С учетом представленных данных доля площадей, занимаемых внутренним отвалом, составляет порядка 26,5 %.

Из представленного графика (рис. 2) следует, что наибольшая доля использования внешнего отвалообразования наблюдается на предприятиях, разрабатывающих Краснобродское, Соколовское, Талдинское и Нарыкское месторождения. В большей степени внутреннее отвалообразование используется на предприятиях Краснобродского и Соколовского месторождений.

Программа развития угольной промышленности и логистические возможности по реализации товарной продукции угольных предприятий предполагают увеличение проектных мощностей горнодобывающего сектора экономики. Объем внешних отвалов и площади изъятия земель под внешнее отвалообразование по годам представлены в табл. 1.

Объем пород, слагающих внешние отвалы, в среднем составляет порядка 66,9 %, внутренние – 33,1 %. Годовой объем вскрышных пород в размере 42766 тыс. м³ будет распределен как 28610,6 и 14155,6 тыс. м³ по внешним и внутренним отвалам соответственно. Внутренние отвалы по своей сущности располагаются в выработанном пространстве, изъятие земель под них не требуется, следовательно, наиболее негативное влияние с точки зрения изъятия земель будут иметь только внешние отвалы.

В настоящее время в проекты горных предприятий внедряется с целью сбережения ресурсов (рис. 3, б) блочный способ отработки карьерных полей, предложенный к.т.н. Б.Т. Рутковским [6] и предусматривающий некоторую долю внутреннего отвалообразования. Сущность способа заключается в предварительном разделении карьерного поля по длине на отдельные блоки, разрабатываемые последовательно (рис. 3, а).

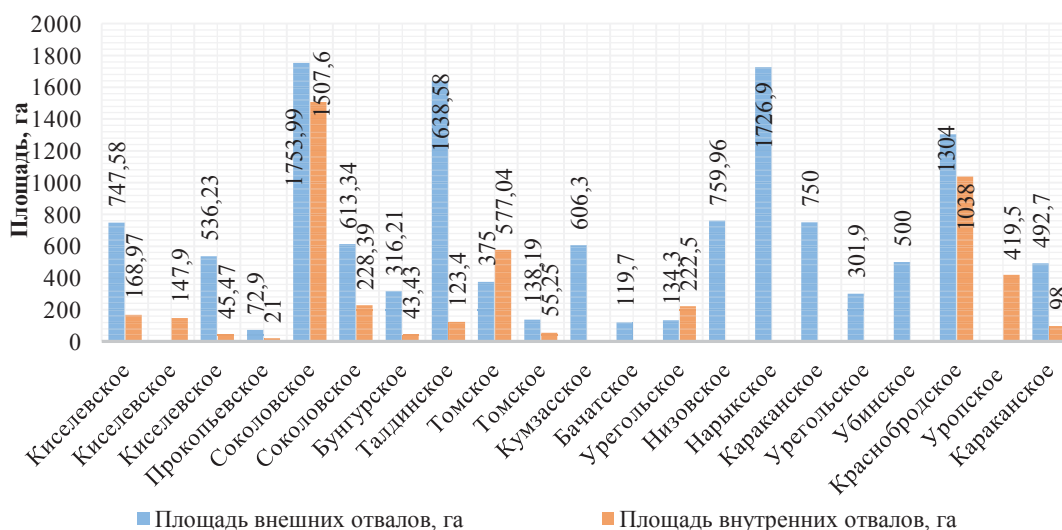


Рис. 2. Показатели соотношения площадей, занимаемых внешними и внутренними отвалами
 Fig. 2. Indicators of the ratio of the areas occupied by external and internal dumps

Таблица 1. Объемы размещаемых вскрышных пород и изъятие земель под внешнее отвалообразование

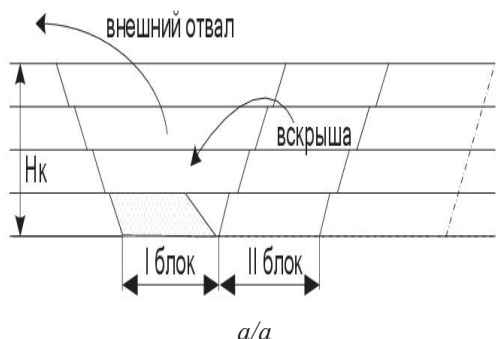
Table 1. Volumes of overburden and withdrawal of land for external dumping

Год Year	2020	2025	2030	2035	Итого Total
Объем внешних отвалов (консервативный вариант), млн м ³ Volume of external dumps (conservative option), million m ³	1966,4	1878,8	1878,8	1870,9	7594,9
Площадь изъятия земель под внешние отвалы, га Area of land acquisition for external dumps, ha	2328,5	2224,8	2224,8	2215,3	8993,4
Объем внешних отвалов (оптимистический вариант), млн м ³ Volume of external dumps (optimistic option), million m ³	2141,5	2260,9	2348,6	2364,5	9115,5
Площадь изымаемых земель под внешние отвалы, га Area of land acquisition for external dumps, ha	2535,9	2677,3	2781,0	2799,8	10794

Сперва обрабатывается первоначальный блок до конечной глубины с вывозкой породы на внешние отвалы. После его доработки до конечной глубины образуется емкость для формирования внутреннего отвала. Затем обрабатывается второй блок с размещением вскрышных пород второго блока в выработанном пространстве первоначального блока. Далее выработанное пространство второго блока заполняется вскрышей третьего и т. д. Основными недостатками данного способа являются отсутствие в

трудах ученых-горняков [7–19] системных рекомендаций определения параметров блоков.

Центры мировой угольной промышленности играют ключевую роль в экономике, они обеспечивают около 25 % всего производства энергии и являются основой для развития других отраслей, таких как металлургия, химическая промышленность и транспорт. Начиная с начала 2000-х гг. лидирующие позиции по добыче угля занимают такие страны, как Китайская Народная Республика, США, Индия, Австралия, Индонезия и др. Большая часть залежей представлена антрацитами, каменным и бурыми углями, в таких условиях предпочтение отдается технологиям, минимально нарушающим площади земной поверхности. Зарубежные угольные компании активно инвестируют в такие технологии, как добыча угля подземным способом, что позволяет снизить экологические риски и повысить эффективность добычи. В [20–24] отмечается, что угольные предприятия характеризуются высокой степенью автоматизации и экологической безопасности, и, следовательно, низким уровнем выбросов. Дополнительным фактором, способствующим долевному росту применения подземного способа за рубежом, является ликвидация предприятий с открытым способом добычи и горно-геологические условия разработки месторождений твердых полезных ископаемых, разработка угольных бассейнов в Российской Федерации, напротив, сопровождается разнообразными горно-техническими условиями, не имеющими аналогов в мире [25]. Следует сделать промежуточный вывод, что в иностранной практике открытой угледобычи блоковый способ не реализован к настоящему моменту времени.



а/а

10

Основные технологические решения по обработке пластов угля

2. Рассчитать, обосновать и отстроить оптимальный контур карьера;
3. Для оптимизации технико-экономических показателей, предусмотреть максимально возможное внутреннее отвалообразование, блочную систему обработки запасов;
4. Исключить или минимизировать увеличение санитарно-защитной зоны разреза;
5. Выполнить подсчет запасов (оценку ресурсов) в отстроенном оптимальном контуре карьера;
6. Отстроить технические границы обработки участка в границах лицензий;
7. Обосновать расчетами годовой уровень добычи, с учетом фактически достигнутого уровня добычи в границах лицензии КЕМ 11669 ТЭ за 2016 год 2,07 млн. тонн и максимального годового проектного уровня добычи в соответствии с действующим проектом 2,5 млн. тонн.

б/б

Рис. 3. а) общий вид блокового способа разработки (продольное сечение карьерного поля), где H_k – глубина карьера, м; б) фрагмент технического задания на разработку проектной документации с использованием блокового способа обработки

Fig. 3. а) general view of the block development method (longitudinal section of the quarry field), where H_k is the depth of the quarry, m; б) fragment of the technical specification for the development of project documentation using the block method of working out

Всестороннее изучение научных трудов [1–25] позволило установить, что нет единого методического подхода к определению параметров блоков, что обуславливается отсутствием взаимосвязи параметров разрабатываемого блока и выработанного пространства отработанного блока, при котором объем разрабатываемых пород невозможно разместить в выработанном пространстве предыдущего блока. Это обстоятельство определяет следующий недостаток: неравномерность размещения вскрышных пород отработанного блока в выработанное пространство отработанного, что негативно сказывается на технико-экономических показателях разреза – увеличиваются объемы и площади под внешние отвалы. С целью устранения вышеуказанного недостатка разработан методический подход, взаимоувязывающий параметры блоков, дальность транспортирования вскрышных пород, вместимость отвалов. Данный методический подход апробирован в [26].

В настоящее время при разработке проектной документации все большее число угольных разрезов старается внедрять технологии отработки с использованием внутреннего отвалообразования. Так, угольные разрезы при разработке проектов на освоение участков недр все чаще делают акцент на ресурсосберегающих технологиях с использованием внутреннего отвалообразования. Например, при разработке проектной документации на отработку и утверждение запасов полезного ископаемого недропользователем в техническом задании указаны требования проектной документации с участием блокового способа разработки карьерного поля (рис. 3, б).

Как видно, во всех представленных случаях для разработки месторождений недропользователями внедряется ресурсосберегающая технология – блоковый способ. В связи с этим можно сделать промежуточный вывод, что недропользователи заинтересованы в рациональном освоении месторождения в части максимального использования внутреннего отвалообразования.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим данную проблему на примере угольного разреза, ведущего разработку Киселевского каменноугольного месторождения. Настоящий угольный разрез ведет свою производственную деятельность с 1947 г. по углубочной продольной двухбортной системе разработки с размещением вскрышных пород только на внешних отвалах. Данный участок ведет разработку угольных пластов крутонаклонного и крутого залегания. В настоящее время горные работы ведутся по углубочной продольной двухбортной системе разработки с применением блокового способа разработки карьерного поля [27]. При этом решения по делению карьерного поля на блоки носят «условный» характер. Данная «условность» определяется тем,

что разделение карьерного поля на блоки производится не обоснованно и зачастую выражена каким-либо характерным объектом – например разведочными линиями (рис. 4). К сравнению предлагаются варианты параметров блоков [26, 27] на примере угольного разреза Киселевского каменноугольного месторождения: по проектной документации; при максимальных и минимальных параметрах блоков.

Методика расчета эколого-экономических показателей основана на нормативном документе «Отраслевая методика расчета количества отходящих, уловленных и выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ при сжигании угля и технологических процессах горного производства на предприятиях угольной промышленности» [28] и включает в себя нижеприведенные критерии, за исключением землеемкости, так как в проектной документации отсутствует оценка землеемкости.

Минимальная землеемкость (3) является критерием оценки эффективности при обосновании параметров блоков:

$$Z = f(H_{16л}, B_{16л}, L_{16л}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Основываясь на исследованиях объемов вскрыши и площади, занимаемой отвалами (табл. 1) существующих угольных разрезов Кузбасса, разрабатывающих наклонные и крутопадающие залежи, выявлено, что площади изъятия земель изменяются в значительных пределах – от 39,5 до 16635,1 га. Учитывая полученные результаты размещения объемов вскрыши на площади, установлено значение среднего объема вскрыши, приходящегося на 1 м² площади, который составляет 84,4 м³. При этом за размещение вскрышных пород на внешнем отвале предприятию необходимо будет производить плату за воздействие на окружающую среду (экологические платежи).

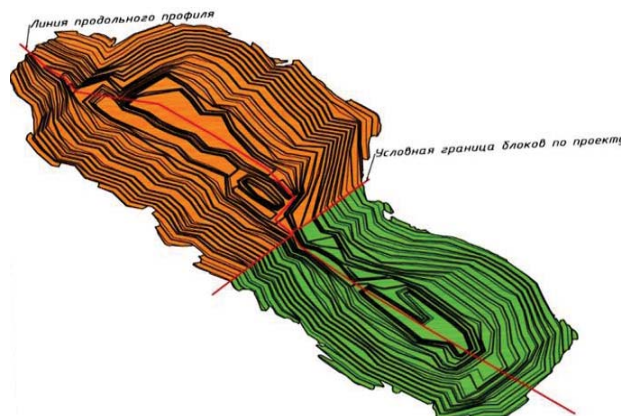


Рис. 4. Общий вид карьерного поля с делением на блоки при разработке перспективного участка Киселевского каменноугольного месторождения

Fig. 4. General view of the quarry field with division into blocks during the development of a promising section of the Kiselevsky coal deposit

Выбросы и пыление при отвалообразовании включают в себя сумму выбросов при выгрузке породы из транспортного средства, формирования породного отвала и при сдувании твердых частиц с пылящей поверхности и выбросы при сгорании топлива в двигателе работающей техники.

Основные исходные величины для расчета экологических платежей при отвалообразовании представлены в табл. 2. Основные исходные величины для расчета пыления и выбросов при отвалообразовании представлены в табл. 3, а исходные данные для расчета пыления и выбросов при транспортировании вскрыши по автомобильным дорогам приведены в табл. 4.

Таблица 2. Исходные величины для расчета экологических платежей
Table 2. Initial values for calculating environmental payments

Наименование показателей Indicator	Обозн. Designation	По проекту By project	L _{бл.дн} (км/км)	
			2,2	1,4
Объем горной массы, млн м ³ Rock mass volume, million m ³	V _{гм}	1799,9		
Объем вскрыши, приходящийся на 1 м ² площади, м ³ /м ² Volume of overburden per 1 m ² of area, m ³ /m ²	V _{вск} ^{1м3}	84,4		
Объем первоначального блока, млн м ³ Original block volume, million m ³	V _{гм} ^{1блок}	1025,9	1019,4	778,70
Объем вскрыши первоначального блока, млн м ³ Initial block overburden volume, million m ³	V _{вск} ^{1блок}	950,9	940,2	723,6
Объем вскрыши первоначального блока, млн т Initial block overburden volume, million tons		2092,1	2068,5	1591,9
Объем оставшейся вскрыши, млн м ³ Remaining overburden volume, million m ³	V _{вск}	591,2	601,9	818,6
Дальность транспортирования вскрыши из первоначального блока, км Distance of overburden transportation from the original block, km	L ^{1блок}	7,5	7,5	6,6

Таблица 3. Исходные величины для расчета пыления и выбросов при отвалообразовании
Table 3. Initial values for calculating dusting and emissions during dumping

Наименование показателей Indicators	Обозн. Designation	По проекту By project	L _{бл.дн} (км/км)	
			2,2	1,4
Общая площадь пылящей поверхности отвала, млн м ² Total area of dump dusty surface, million m ²	S ₀	11,3	11,1	8,6
Рабочая площадь поверхности действующего отвала, где производятся работы по его формированию, млн м ² Working surface area of the operating dump, where work on its formation is carried out, million m ²	S ₀₁	0,9	0,9	0,7
Площадь поверхности действующего отвала, прекращение подачи породы на которую не превышает трех месяцев, млн м ² Surface area of an operating dump, the cessation of rock supply to which does not exceed three months, million m ²	S ₀₂	1,9	1,8	1,4
Площадь поверхности действующего отвала, прекращение подачи породы на которую составляет три и более месяцев, млн м ² Surface area of an active dump, the supply of rock to which has been interrupted for three or more months, million m ²	S ₀₃	8,5	8,4	6,5
Суммарное чистое время работы бульдозеров j-й марки за период, тыс. ч Total net operating time of j-brand bulldozers for the period, thousand h	T _j	429,2	374,9	261
Мощность бульдозера, кВт/Bulldozer power, kW.	H _j	480		

Примечание: для упрощения расчета принята одна марка бульдозера при отвалообразовании.

Note: to simplify the calculation, one brand of bulldozer is used for dumping.

Таблица 4. Исходные величины для расчета пыления и выбросов при транспортировании вскрыши по автомобильным дорогам
Table 4. Initial values for calculating dust and emissions during overburden transportation by road

Наименование показателей Indicators	Обозн. Designation	По проекту By project	L _{бл.дн} (км/км)	
			2,2	1,4
Площадь поверхности транспортируемого материала транспортным средством j-й марки за один рейс, м ² Surface area of transported material by vehicle of the j-brand in one trip, m ²	S _j	44		
Средняя длительность движения транспорта с грузом за один рейс по территории предприятия, ч Average duration of movement of transport with cargo per a trip across the enterprise territory, hours	τ _j	429240	374908,9	261048
Длина временных дорог в пределах территории предприятия, км Length of temporary roads within the enterprise territory, km	L _{вп}	0,2	0,2	0,2
Длина стационарных дорог в пределах территории предприятия, км Length of stationary roads within the enterprise territory, km	L _{ст}	7,3	7,3	6,4

Таким образом, предлагается система критериев, включающих оценку землеемкости, экологические платежи за выбросы и пыление при транспортировании вскрышных пород автотранспортом и отвалообразовании.

В дальнейшем к сравнению предлагаются варианты: по проектной документации; при максимальных и минимальных параметрах блоков. По результатам расчета землеемкости разреза, с учетом среднего значения объема вскрышных пород, приходящихся на 1 га площади, по трем принятым вариантам выявлено явно выраженное снижение уровня изымаемых земель, что сопровождается снижением размера экологических платежей (рис. 5).

Уровень пыления и выбросов от работы оборудования при отвалообразовании от размеров блоков (рис. 6) также изменяются при уменьшении размеров блоков.

По результатам расчета плата за пыление и выбросы при транспортировании вскрыши по автомо-

бильным дорогам (рис. 7) изменяются аналогично уровню экологических платежей.

Пыление и выбросы при транспортировании вскрыши совокупно включают в себя следующее: количество пыли, сдуваемой с поверхности материала, транспортируемого самосвалами, т/год; количество пыли, образуемой на автодороге при движении транспортных средств, т/год; количество выбросов загрязняющих веществ, образующихся при сгорании топлива в дизельных двигателях карьерных самосвалов, т/год.

По итогам расчета каждого показателя строятся зависимости вышеуказанных загрязняющих веществ от размеров блоков (рис. 8). Как видно из представленного графика (рис. 8), тенденция изменения показателей по выбросам и пылению при транспортировании также снижается при уменьшении размеров блоков.

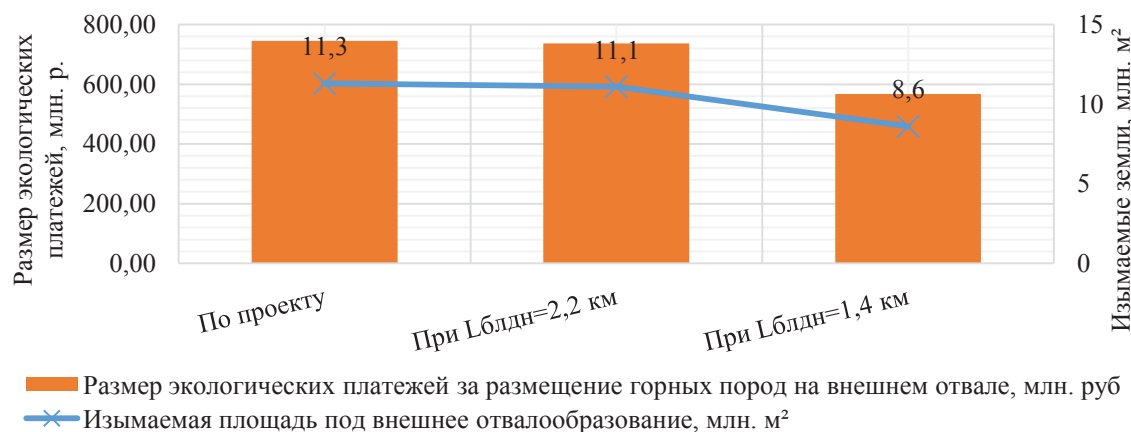


Рис. 5. График зависимости уровня изъятия земель под внешнее отвалообразование, совмещенное с уровнем экологических платежей, от размеров блоков

Fig. 5. Graph of the dependence of the level of land withdrawal for external dumping, combined with the level of environmental payments on the size of blocks

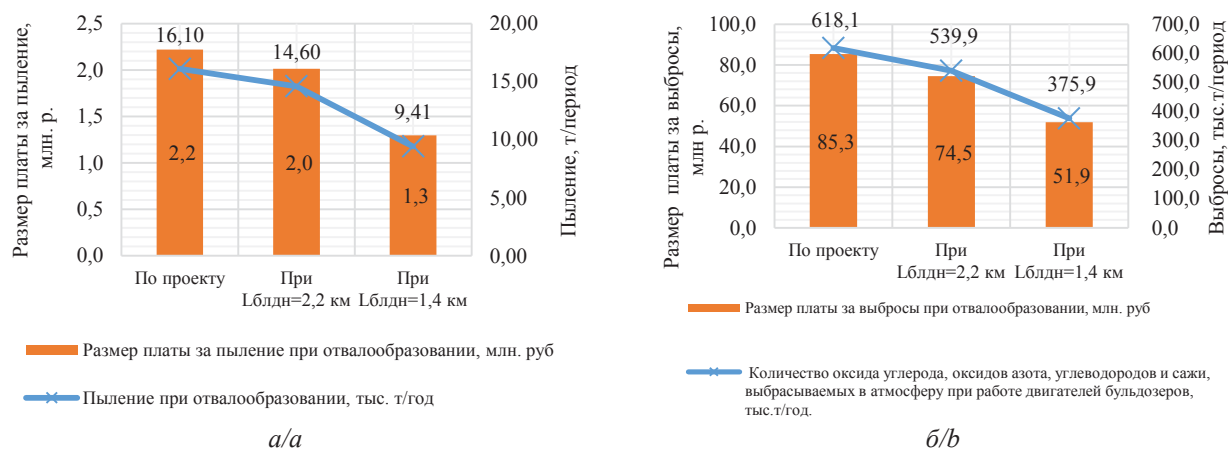


Рис. 6. График зависимости уровня пыления (а) и выбросов от работы оборудования (б) при отвалообразовании от размеров блоков

Fig. 6. Graph of the dependence of dusting level (а) and emissions from equipment operation (б) during dumping on the size of blocks

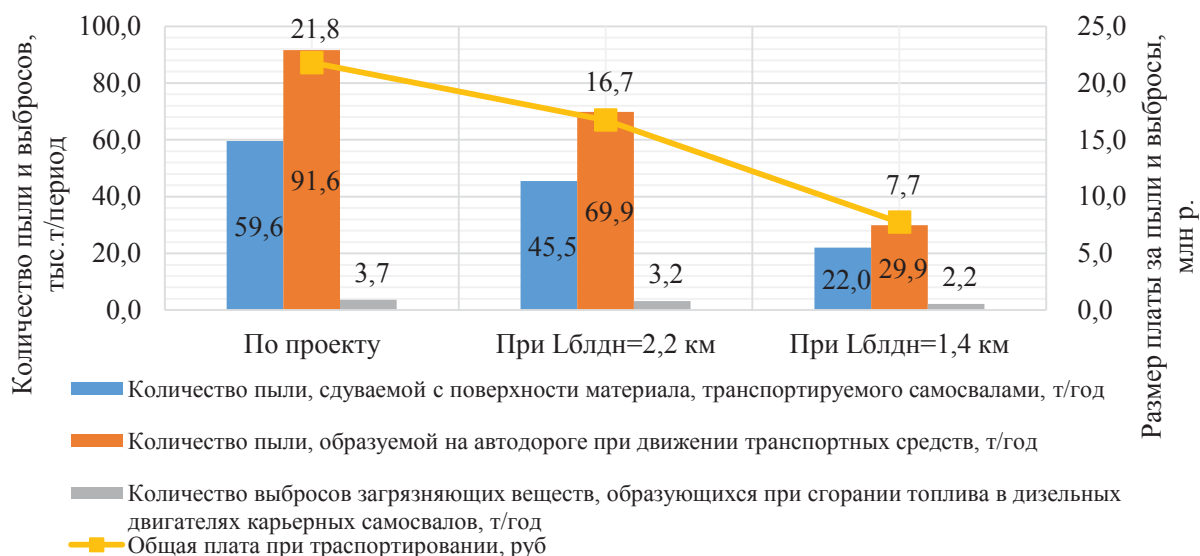


Рис. 7. График зависимости уровня пыления и выбросов от работы оборудования при транспортировании от размеров блоков

Fig. 7. Graph of the dependence of the level of dust and emissions from equipment operation during transportation on the size of the blocks

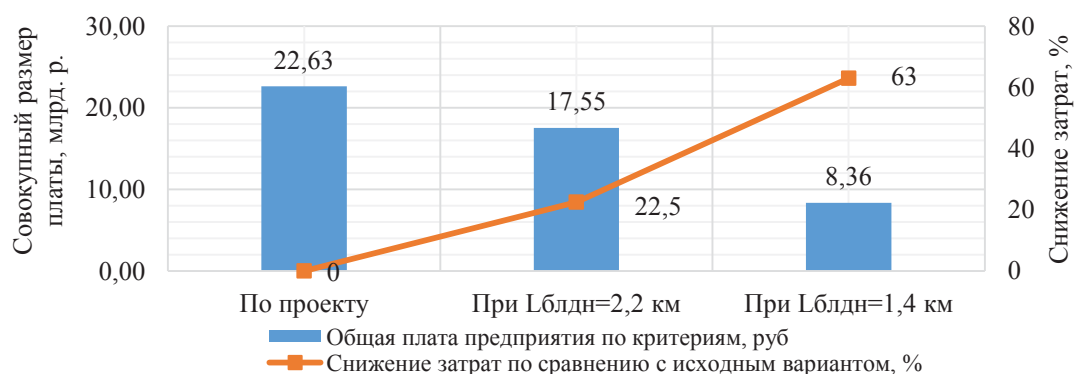


Рис. 8. График изменения совокупной платы за воздействие на окружающую среду и процента снижения затрат от размеров блоков

Fig. 8. Graph of the dependence of the total environmental impact fee and the percentage of cost reduction on the size of the blocks

Совокупно рассмотренные показатели позволяют сформировать полную картину снижения негативного воздействия на окружающую (рис. 8).

Заключение

Предложены эколого-экономические критерии оценки применения блочного способа обработки карьерных полей, которые позволяют исследовать закономерности изменения экологических показателей, таких как выбросы от работы двигателей автотранспортного оборудования и пыления с поверхности отвалов и горных выработок, а также оценить их с позиции экологических платежей горного предприятия.

Применительно к условиям разреза «Краснобродский» Киселевского каменноугольного месторождения рассчитаны затраты по экологическим

платежам за пользование земельными ресурсами, выбросы и пыление по трем вариантам: по проектной документации; при максимальных и минимальных параметрах первоначального блока. Установлено, что при изменении длины первоначального блока с 2,2 до 1,4 км, соответственно, происходит изменение уровня пыления и выбросов с 76,5 до 53,2 тыс. т/год, что составляет 30,5 %, и уменьшаются площади изъятия земель для размещения внешнего отвала с 11,1 до 8,6 млн м², снижение составило 23 %. Доказана эффективность применения блочного порядка обработки перспективных угольных залежей, позволяющая снижать затраты за воздействие на окружающую среду на 22,5 и 63 %, соответственно, при изменении длин первоначального блока с 2,2 до 1,4 км.

Как видно из представленных выше расчетов, совокупные эколого-экономические показатели позволяют в полной мере оценить целесообразность при-

менения методики расчета параметров блоков, что в целом отражается в снижении затрат на плату за негативное воздействие на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства РФ «Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года» от 13.06.2020 № 1582-р. // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=1&nd=102762578&intelsearch=% (дата обращения: 24.04.2024).
2. Селюков А.В. Оценка землеемкости угольных разрезов видоизменением системы открытой разработки // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 3 (43). – С. 82–86. DOI: 10.21440/2307-2091-2016-3-82-86.
3. Селюков А.В. Обоснование и разработка ресурсосберегающих технологий открытой угледобычи на карьерных и отработанных шахтных полях: дис.... д-ра техн. наук. – Кемерово, 2019. – 308 с.
4. Рутковский Б.Т. Блочный способ отработки месторождений открытым способом // Добыча угля открытым способом. – Кемерово: Изд-во: КузПИ, 1972. – С. 81–87.
5. Федорин В.А., Татарина О.А. Цифровой метод в задачах доступа к георесурсам // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 12-1. – С. 134–142. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_134.
6. Многокритериальный анализ стратегий устойчивого развития глубоких карьеров / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов, М.Э. Юсупов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 12. – С. 76–96. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4223.
7. Стратегии повышения эффективности комплексного освоения участка недр при открытой геотехнологии / В.Ю. Заляднов, К.В. Бурмистров, С.Е. Гавришев, Г.В. Михайлова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 400–412.
8. Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. Устойчивое развитие горно-технических систем, как переход от добычи полезных ископаемых к освоению георесурсов и сохранению недр // Горный журнал. – 2021. – № 8. – С. 4–7. DOI: 10.17580/gzh.2021.08.01.
9. Супрун В.И., Ворошилин К.С. Оценка условий, предопределяющих использование панельной отработки рабочих бортов карьера // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 3 (65). – С. 44–49. DOI: 10.26121/RON.2022.25.54.004.
10. Методика определения параметров техногенной емкости для условий крутопадающих месторождений полезных ископаемых / Т.С. Кравчук, И.А. Пыталев, Е.Е. Швабенланд, В.В. Якшина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 4. – С. 425–435. DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-425-435.
11. Обоснование системы разработки с внутренним отвалом при освоении крутопадающего месторождения Курасан / И.А. Пыталев, В.В. Якшина, А.А. Козловский, А.А. Полинов // Рациональное освоение недр. – 2022. – № 4 (66). – С. 34–38. DOI: 10.26121/RON.2022.78.94.005.
12. Ческидов В.И., Резник А.В. Особенности внутреннего отваломобразования вскрышных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 2. – С. 61–68. DOI: 10.15372/FTPRPI20220206.
13. Zhironkin S., Cehlar M. Green economy and sustainable development: the outlook and suitable development // Energies. – 2022. – Vol. 1167. – P. 1–8. DOI: 10.3390/en15031167.
14. Zhironkin S., Szurgacz D. Mining technologies innovative development: industrial, environmental and economic perspectives // Energies. – 2022. – Vol. 15. – P. 1–9. DOI: 10.3390/en15051756.
15. Cai X., Zhu B., Zhang H. Can direct environmental regulation promote green technology innovation in heavily polluting industries? Evidence from Chinese listed companies // Science of the Total Environment. – 2020. – Vol. 746. – P. 2–18. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140810.
16. Evaluating and predicting blast-induced ground vibration in open-cast mine using ANN: a case study in Vietnam / H. Nguyen, X.N. Bui, Q.H. Tran, T.Q. Le, N.H. Do, L.T.T. Hoa // Springer Nature Applied Sciences. – 2019. – P. 2–11. DOI: 10.1007/s42452-018-0136-2.
17. López Vinielles J., Fernández-Merodo J.A., Ezquerro P. Combining satellite in SAR, slope units and finite element modeling for stability analysis in mining waste disposal area // Remote Sens. – 2021. – P. 1–24. DOI: 10.20944/preprints202104.0696.v1.
18. Michieka N.M. Energy and the environment: the relationship between coal production and the environment in China // Natural Resources Research. – 2014. – P. 285–298. DOI: 10.1007/s11053-013-9223-7.
19. A coupling method for eco-geological environmental safety assessment in mining areas using PCA and catastrophe theory / X. Sun, H. Shao, X. Xiang, L. Yuan, Y. Zhou, W. Xian // Natural Resources Research. – 2020. – P. 4133–4148. DOI: 10.1007/s11053-020-09682-8.
20. Adams S., Nsiah C. Reducing carbon dioxide emissions; Does renewable energy matter? // Science of the Total Environment. – 2019. – Vol. 693. – P. 133288. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.094.
21. Retrieval of precise land surface temperature from ASTER night-time thermal infrared data by split window algorithm for improved coal fire detection in Jharia Coalfield, India / N. Singh, R.S. Chatterjee, Dh. Kumar, D.C. Paningrahi, R. Mujawdiya // Geocarto International. – 2020. – Vol. 37. – P. 926–943. DOI: 10.1080/10106049.2020.1753820.
22. Bedini E. Application of WorldView-3 imagery and ASTER TIR data to map alteration minerals associated with the Rodalquilar gold deposits, southeast Spain // Advances in Space Research. – 2019. – Vol. 63. – P. 3346–3357. DOI: 10.1016/j.asr.2019.01.047.
23. Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых: пат. № 2800752, Российская Федерация, С1; заявл. 27.12.2022; опубл. 27.07.2023, Бюл. № 21. – 13 с.

24. Проектная документация «Технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов каменного угля в границах лицензий ООО «Горнорудная компания Урала» КЕМ 01800 ТЭ на участке Краснобродский Глубокий и ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» КЕМ 11669 ЕЭ Краснобродского каменноугольного месторождения. Кн. 1. – Кемерово, 2018. – 293 с.
25. Отраслевая методика расчета количества отходящих, уловленных и выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ при сжигании угля и технологических процессах горного производства на предприятиях угольной промышленности. – Пермь, 2014. – 186 с.

Информация об авторах

Алексей Владимирович Селюков, доктор технических наук, профессор кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. sav.ormpi@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7827-822X>

Андрей Викторович Герасимов, аспирант кафедры открытых горных работ, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. and-95.2010@mail.ru

Поступила в редакцию: 16.05.2024

Поступила после рецензирования: 17.06.2024

Принята к публикации: 19.09.2024

REFERENCES

1. Order of the Government of the Russian Federation «Program for the development of the Russian coal industry for the period until 2035» dated June 13, 2020 No. 1582-р. Official Internet portal of legal information. (In Russ.) Available at: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&link_id=1&nd=102762578&intelsearch=% (accessed: 24 April 2024).
2. Selyukov A.V. Evaluation of ground capacity of coal mines by modification of opencast mining system. *News of the Ural State Mining University*, 2016, vol. 134, no. 3 (43), pp. 82–86. (In Russ.) DOI: 10.21440/2307-2091-2016-3-82-86.
3. Selyukov A.V. *Justification and development of resource-saving technologies for open-pit coal mining in open-pit and waste mine fields*. Dr. Diss. Kemerovo, 2019. 308 p. (In Russ.)
4. Rutkovsky B.T. Block method of open-pit mining of deposits. *Open-pit coal mining*. Kemerovo, KuzPI Publ. house, 1972. pp. 81–87. (In Russ.)
5. Fedorin V.A., Tatarinova O.A. Digital method in the problems of georesourser accessibility optimization. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, 2022, vol. 166, no. 12-1, pp. 134–142. (In Russ.) DOI: 10.25018/0236_1493_2022_121_0_134.
6. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Rakhmangulov A.N., Yusupov M.E. Multi-criteria analysis of deep pits sustainable development strategy. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 233, no. 12, pp. 76–96. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4223.
7. Zalyadnov V.Yu., Burmistrov K.V., Gavrishev S.E., Mihaylova G.V. Strategies for increasing the efficiency of integrated development of the open geotechnology subsoil site. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*, 2023, vol. 771, no. 4, pp. 400–412. (In Russ.)
8. Kaplunov D.R., Fedotenko V.S. Sustainable development of mining and technical systems, as a transition from mining to the development of georesources and conservation of subsoil. *Mining Journal*, 2021 vol. 95, no. 8, pp. 4–7. (In Russ.) DOI: 10.17580/gzh.2021.08.01.
9. Suprun V.I., Voroshilin K.S. Assessment of conditions predetermining the use of panel mining of quarry working sides. *Rational development of subsoil*, 2022 vol. 75, no. 3 (65), pp. 44–49. (In Russ.) DOI: 10.26121/RON.2022.25.54.004.
10. Kravchuk T.S., Shvabenland E.E., Pytalev I.A., Yakshina V.V. The method of determining the parameters of the technogenic container for the conditions of steeply falling deposit of mineral. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*, 2021, vol. 640, no. 4, pp. 425–435. (In Russ.) DOI: 10.46689/2218-5194-2021-4-1-425-435.
11. Pytalev I.A., Yakshina V.V., Kozlovsky A.A., Polinov A.A. Justification of a development system with internal dumping during the development of the steeply sloping Kurasan deposit. *Rational development of subsoil*, 2022, vol. 66, no. 4 (66), pp. 34–38. (In Russ.) DOI: 10.26121/RON.2022.78.94.005.
12. Cheskidov V.I., Reznik A.V. Specifics of internal overburden dumping in open pit mining. *Journal of mining science*, 2022 vol. 188, no. 2, pp. 61–68. (In Russ.) DOI: 10.15372/FTPRPI20220206.
13. Zhironkin S., Cehlar M. Green economy and sustainable development: the outlook and suitable development. *Energies*, 2022, vol. 1167, pp. 1–8. DOI: 10.3390/en15031167.
14. Zhironkin S., Szurgacz D. Mining technologies innovative development: industrial, environmental and economic perspectives. *Energies*, 2022, vol. 15, pp. 1–9. DOI: 10.3390/en15051756.
15. Cai X., Zhu B., Zhang H. Can direct environmental regulation promote green technology innovation in heavily polluting industries? Evidence from Chinese listed companies. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 746, pp. 2–18. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140810.
16. Nguyen H., Bui X.N., Tran Q.H., Le T.Q., Do N.H., Hoa L.T.T. Evaluating and predicting blast-induced ground vibration in open-cast mine using ANN: a case study in Vietnam. *Springer Nature Applied Sciences*, 2019, pp. 2–11. DOI: 10.1007/s42452-018-0136-2.
17. López Vinielles J., Fernández-Merodo J.A., Ezquerro P. Combining satellite in SAR, slope units and finite element modeling for stability analysis in mining waste disposal area. *Remote Sens*, 2021, pp. 1–24. DOI: 10.20944/preprints202104.0696.v1.

18. Michieka N.M. Energy and the environment: the relationship between coal production and the environment in China. *Natural Resources Research*, 2014, pp. 285–298. DOI: 10.1007/s11053-013-9223-7.
19. Sun X., Shao H., Xiang X., Yuan L., Zhou Y., Xian W. A coupling method for eco-geological environmental safety assessment in mining areas using PCA and catastrophe theory. *Natural Resources Research*, 2020, pp. 4133–4148. DOI: 10.1007/s11053-020-09682-8.
20. Adams S., Nsiah C. Reducing carbon dioxide emissions; Does renewable energy matter? *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 693, pp. 133288. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.094.
21. Singh N., Chatterjee R.S., Kumar Dh., Paningrahi D.C., Mujawdiya R. Retrieval of precise land surface temperature from ASTER night-time thermal infrared data by split window algorithm for improved coal fire detection in Jharia Coalfield, India. *Geocarto International*, 2020, vol. 37, pp. 926 – 943. DOI: 10.1080/10106049.2020.1753820.
22. Bedini E. Application of WorldView-3 imagery and ASTER TIR data to map alteration minerals associated with the Rodalquilar gold deposits, southeast Spain. *Advances in Space Research*, 2019, vol. 63, pp. 3346–3357. DOI: 10.1016/j.asr.2019.01.047.
23. Gerasimov A.V., Selyukov A.V. *Method of open-pit mining of mineral deposits*. Patent RF, no. 2800752, 2023. (In Russ.)
24. *Project documentation «Feasibility study of permanent exploration conditions for calculating coal reserves within the boundaries of the licenses of LLC Mining Company of the Urals KEM 01800TE at the Krasnobrodsky Gluboky site and OJSC Management Company Kuzbassrazrezugol» KEM 11669 EE of the Krasnobrodsky coal deposit. Book 1*. Kemerovo, 2018. 293 p. (In Russ.)
25. *Industry methodology for calculating the amount of waste pollutants captured and released into the atmosphere during coal combustion and mining processes at coal industry enterprises*. Perm, 2014. 186 p. (In Russ.)

Information about the author

Alexey V. Selyukov, Dr. Sc., Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation. sav.ormpi@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7827-822X>

Andrey V. Gerasimov, Postgraduate Student, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation. and-95.2010@mail.ru

Received: 16.05.2024

Revised: 17.06.2024

Accepted: 19.09.2024