

Исследование влияния горно-геологических условий Бейского месторождения и режима горных работ на схему вскрытия и порядок отработки

В. Е. Кисляков, А. В. Шварцкопф, А. С. Федотов✉

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Российская Федерация

✉ ar.fedotow@yandex.ru

Аннотация: Известно, что режим горных работ является одним из основных факторов, оказывающих влияние на экономическую эффективность освоения месторождения. На стадиях разработки проектной документации порядок отработки месторождения определяется таким образом, чтобы обеспечить проектную производственную мощность с минимальными объемами вскрышных работ. От этого зависит схема вскрытия месторождения. Особо важную роль порядок отработки играет при освоении месторождений с двумя и более рабочими зонами. Приведены результаты анализа горно-геологических условий Бейского каменноугольного месторождения, где отработка участков месторождения осуществляется двумя рабочими зонами по разным группам пластов. Несмотря на очевидную выгоду отработки одной из групп пластов, в перспективе такая неравномерная отработка создает негативные условия для последующих периодов эксплуатации месторождения. По результатам анализа сформулированы основные причины такого порядка отработки, обозначены потенциальные негативные последствия и дальнейшие цели исследования.

Ключевые слова: каменноугольное месторождение, схема вскрытия, отработка различными рабочими зонами, порядок отработки, режим горных работ, коэффициент вскрыши

Для цитирования: Кисляков В.Е., Шварцкопф А.В., Федотов А.С. Исследование влияния горно-геологических условий Бейского месторождения и режима горных работ на схему вскрытия и порядок отработки. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025;25(5):15-20. <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-5-15-20>.

Study of the influence of mining and geological conditions of the Beyskoye deposit and the mining mode on the opening scheme and the order of development

V. E. Kislyakov, A. V. Shwartzkopf, A. S. Fedotov✉

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Siberian Federal University»,
Krasnoyarsk, Russian Federation

✉ ar.fedotow@yandex.ru

Abstract: It is known that the mode of mining operations is one of the main factors influencing the economic efficiency of deposit development. At the stages of development of design documentation, the order of deposit development is determined in such a way as to ensure the design production capacity with minimum volumes of overburden operations, which in turn determines the scheme of deposit opening. The order of development plays a particularly important role in the development of deposits with two or more working zones. The paper presents the results of the analysis of the mining and geological conditions of the Bey coal deposit, where the development of deposit sections is carried out by two working zones in different groups of seams. Despite the obvious benefit of developing one of the groups of seams, in the long term, such uneven development creates negative conditions for subsequent periods of deposit operation. Based on the analysis results, the main reasons for such a development order are formulated, potential negative consequences are identified and further research objectives are formulated.

Keywords: mining mode, mining procedure, opening scheme, stripping ratio, coal deposit, mining in different working zones

For citation: Kislyakov V.E., Shwartzkopf A.V., Fedotov A.S. Study of the influence of mining and geological conditions of the Beyskoye deposit and the mining mode on the opening scheme and the order of development. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2025;25(5):15-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2025-25-5-15-20>.

Введение

Управление режимом горных работ с целью снижения объемов вскрыши и соответствующих затрат при неизменном уровне добычи является основным и наиболее часто применяемым инструментом снижения эксплуатационных затрат [1–3]. Учитывая нестабильную конъюнктуру на рынке угля, стремление недропользователей вести добычу с более низким коэффициентом вскрыши встречается все чаще.

Как правило, основными инструментами реализации таких решений являются: увеличение угла наклона рабочего борта за счет переноса периода отработки верхних вскрышных уступов на более поздний период [4]; сдвигание вскрышных уступов и формирование временного нерабочего борта [5, 6] в зоне с более высоким коэффициентом вскрыши или соответствующее изменение направления развития горных работ в сторону меньшего коэффициента вскрыши; а также формирование временных отвалов [7, 8].

Такие решения позволяют достичь желаемого эффекта в краткосрочной перспективе, но создают проблемы для последующей отработки. Совместная или раздельная реализация описанных решений по управлению режимом горных работ приводит к одному результату: из-за наличия накопленного отставания по отработке вскрышных уступов происходит резкое увеличение коэффициента вскрыши в последующие годы, что негативно влияет на общую доходность предприятия. Тем самым в погоне за краткосрочной выгодой недропользователи накапливают необходимость дальнейших больших вложений вместо плавного их распределения по годам.

В связи с этим на этапе проектирования необходимо детальное изучение изменчивости коэффициента вскрыши по периодам эксплуатации, оценка влияния порядка отработки месторождения и схемы вскрытия на режим горных работ, определение зависимости доходности предприятия (чистый дисконтированный доход, индекс доходности) от режима горных работ и определение ключевых граничных значений технологических показателей (коэффициент вскрыши, расстояние транспортирования и др.), при достижении или превышении которых доходность предприятия становится нулевой или отрицательной.

Цель исследований: анализ горно-геологических условий и оценка их влияния на выбор существующей схемы вскрытия и порядка отработки участка, а также оценка рисков дальнейшего развития принятой схемы и порядка отработки.

Материал и методы исследования

В качестве материалов для исследования приняты геологические материалы разных годов выполнения, созданная с их использованием объемная модель месторождения, а также

материалы о современном состоянии горных работ. Основные методы исследования, применяемые в настоящей работе, – анализ и моделирование (объемное и математическое), которые были осуществлены с помощью наиболее распространенных программных комплексов AutoCAD, Micromine, Microsoft Excel.

Объектом исследования является участок «Майрышский», отрабатывающий часть Бейского каменноугольного месторождения. Наиболее полно проблемы участка описаны в работе [9].

Одной из главных особенностей с технологической точки зрения является выделение групп пластов (верхняя и нижняя) и их отработка двумя рабочими зонами. По своей сути это два разреза, отрабатывающие одну часть залежи с перспективой объединения их в один разрез. Вскрытие предусмотрено производить обособленно для каждой группы пластов, и каждая рабочая зона имеет свои горнотехнические показатели и особенности, а поэтому рассматривается отдельно. В упрощенном представлении схема работы представлена на рисунке 1.

Результаты исследований

Исследование изменчивости мощности вскрышных пород и угольных пластов

На исследуемом участке отложения четвертичного возраста сложены гравийно-галечниковыми отложениями в основном с песчаным и супесчаным заполнителем и имеют мощность от 8 до 33 м, в среднем – 12,3 м.

Вмещающие коренные породы представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, составляющими группу полускальных (95 %) и скальных пород (5 %).

Строение пластов в большинстве своем сложное, редко – простое. Пласты состоят из двух-восьми пачек (пласт 19). Мощности угольных прослоев, разделяющих угольные пачки, изменяются от 0,05 до 1,0 м. Нередко наблюдается расщепление угольных пластов на самостоятельные пачки. Мощности угольных пластов и их междупластий подвержены значительным колебаниям.

Угольные пласты залегают друг от друга на расстоянии от 1,0 до 30,0 м. Пласты нерабочей мощности имеют ограниченное площадное распространение.

На рисунках 2 и 3 представлены средние значения мощностей угольных пластов и междупластий.

Анализируя представленные гистограммы можно сделать вывод, что пласты верхней группы наиболее производительны и их отработка наиболее эффективна с организационной точки зрения. Средняя мощность междупластий по основным пластам верхней группы позволяет вести работы уступами высотой 10–15 м, что наиболее эффективно в сравнении с мощностью междупластий нижней группы.

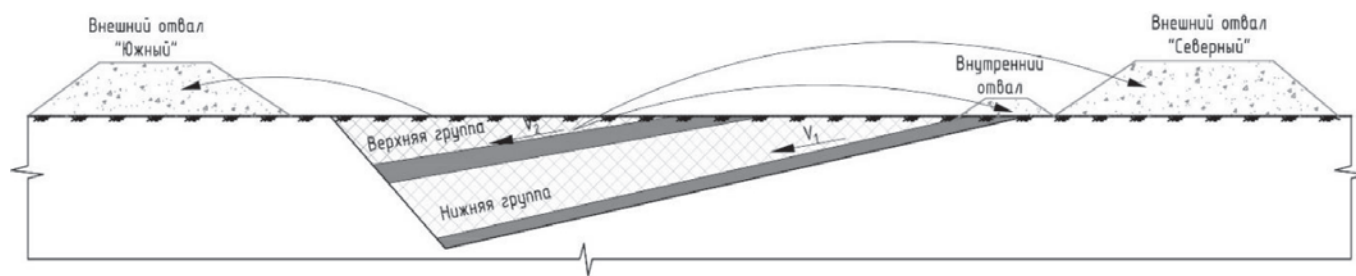


Рис. 1. Схема отработки месторождения в упрощенном представлении /
Fig. 1. Simplified representation of the deposit mining scheme

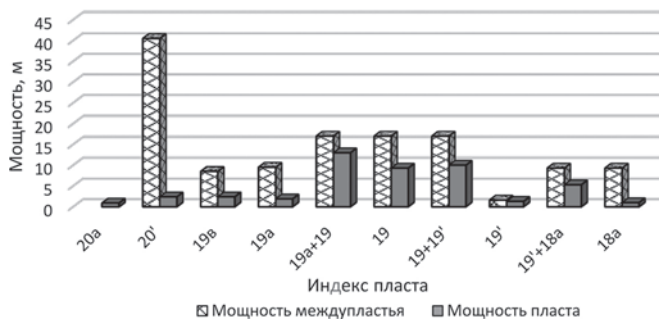


Рис. 2. Средние значения мощности междупластья и угольных пластов по верхней группе пластов /
Fig. 2. Average values of interbed and coal seam thickness for the upper group of seams

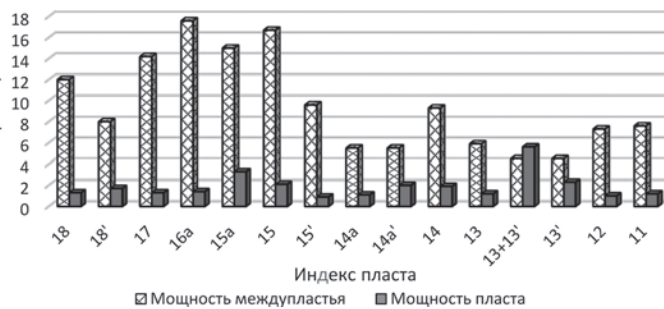


Рис. 3. Средние значения мощности междупластья и угольных пластов по нижней группе пластов /
Fig. 3. Average values of interbed thickness and coal seams for the lower group of seams

Исследование режима горных работ

Для исследования изменчивости режима горных работ и коэффициента вскрыши по этапам отработки поле разреза было разделено на этапы равной ширины (ширина этапа – 100 м), по которым были произведены подсчеты объемов угля и вскрыши.

Графики этапных объемов нарастающим итогом по группам пластов и графики изменения коэффициента вскрыши представлены на рисунках 4 и 5.

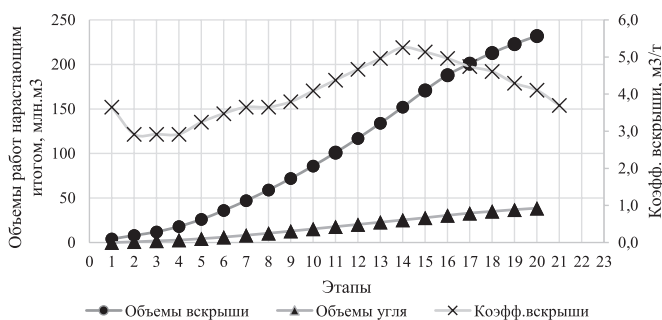


Рис. 4. Этапные объемы нарастающим итогом и коэффициент вскрыши по верхней группе пластов /
Fig. 4. Staged volumes cumulative total and stripping ratio for the upper group of layers

По верхней группе на протяжении 8 этапов коэффициент вскрыши ($K_{\text{вскр.}}$) в среднем составляет 3,3 м³/т, по нижней группе на протяжении 11 этапов $K_{\text{вскр.}} = 3,7$ м³/т. На последующих этапах отмечается его постоянный рост. В связи с этим можно сделать вывод, что на первоначальных этапах более выгодной является отработка верхней группы пластов.

Принимая во внимание то, что по мере отработки будет

происходить постоянное увеличение глубины, определена соответствующая зависимость коэффициента вскрыши от глубины отработки по группам пластов, которая представлена на рисунке 5.

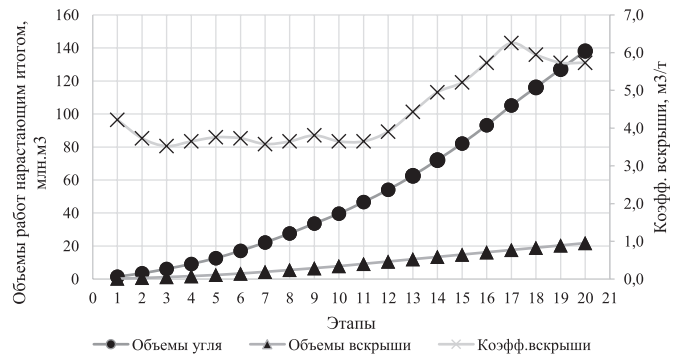


Рис. 5. Этапные объемы нарастающим итогом и коэффициент вскрыши по нижней группе пластов /
Fig. 5. Staged volumes cumulative total and stripping ratio for the lower group of layers

Сопоставляя информацию об этапных объемах горных работ и изменчивости коэффициента вскрыши (рис. 4 и 5) по группам пластов, можно отметить, что изменчивость коэффициента вскрыши по обеим группам имеет общий характер.

Анализ графика на рисунке 6 демонстрирует логичную изменчивость коэффициента вскрыши без пиковых значений, что соответствует рассматриваемым горно-геологическим условиям. Полученную зависимость допустимо использовать для предварительного прогноза коэффициента вскрыши на заданной глубине.

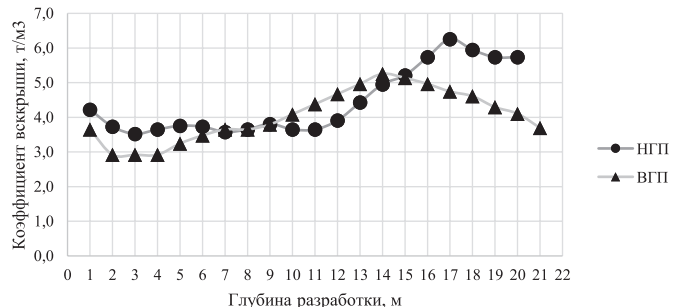


Рис. 6. Зависимость коэффициента вскрыши от глубины отработки /
Fig. 6. Dependence of the stripping ratio on the mining depth

Обсуждение результатов

На основании проведенного анализа сформулированы причины неравномерной отработки с акцентом на верхнюю группу пластов:

- сравнительно невысокий коэффициент вскрыши, который плавно увеличивается без пиковых значений по мере увеличения глубины;
- более высокая производительность основных рабочих пластов в сравнении с нижней группой пластов;
- высокий уровень качества угля верхней группы пластов, позволяющих реализовывать его без обогащения;
- за счет того, что отвалообразование при отработке верхней группы пластов осуществляется на внешнем отвале со стороны рабочего борта, происходит постоянное снижение расстояния транспортирования.

Опыт отработки месторождения показал: пласты верхней

группы имеют более качественные характеристики, что позволяет реализовать их по более высоким ценам. А проведенная сравнительная оценка пластов по мощности позволяет сделать вывод, что пласты верхней группы более производительные, а это упрощает организацию работы и положительно влияет на уровень производительности добычного оборудования.

Организация работ по отработке нижней группы пластов имеет ряд ограничений:

- из-за малой мощности пластов;
- короткого фронта горных работ;
- возможного уровня производственной мощности.

Отработка пластов малой мощности негативно влияет на производительность оборудования, усложняется организация работы и выполаживается рабочий борт, а при отработке тонких пластов с углами падения 5 и более градусов усложняется схема их отработки. Поэтому на данный момент отработка нижней группы пластов осуществляется по остаточному принципу.

Несмотря на сравнительно высокую эффективность отработки верхней группы пластов, неравномерная отработка имеет и негативные стороны, которые в настоящий момент могут не приносить значительного ущерба, но в накопленном итоге могут оказать значительную финансовую нагрузку.

Последствия неравномерной отработки:

- невозможность строительства отвалов в выработанном пространстве из-за наличия неотработанных запасов;
- изъятие большого количества земель под внешние отвалы с первых лет после начала отработки и повышение экологической нагрузки на район присутствия;
- увеличивающиеся экономические издержки, связанные с платой за размещение внешних отвалов;
- образование выработанного пространства как техногенного ресурса на верхней группе пластов, которое невозможно использовать [9–11];
- перенос работ по полноценному вскрытию нижней группы пластов и создания фронта горных работ снижает возможность оперативного увеличения производственной мощности в случае такой необходимости.

Учитывая эффективность отработки верхней группы пластов за счет расположения внешнего отвала со стороны рабочего борта и постоянного уменьшения расстояния транспортирования в дальнейшем, следует отметить, что отсутствие выработанного пространства под внутренний отвал приведет к резкому увеличению расстояния транспортировки, так как емкости отвала не хватит на весь период отработки верхней группы пластов.

Заключение

1. Основываясь на результатах проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что принятый в настоящее время порядок отработки месторождения недостаточно эффективен для рассматриваемых условий и создает негативные условия для последующих лет отработки.

2. Перераспределение нагрузки на рабочие зоны, то есть изменение порядка отработки, позволит:

– равномерно распределить добычную нагрузку на группы пластов, что даст возможность наиболее оперативно подстраиваться под изменение производственной мощности;

– обеспечить разрез выработанным пространством для внутреннего отвалообразования, тем самым сократить среднее значения расстояния транспортирования и снизить интенсивность отчуждения земель под внешние отвалы и платы за это.

3. Для разработки наиболее эффективных рекомендаций по изменению порядка отработки необходимо продолжение исследований со следующими целями:

– определение минимальной и максимальной производственных мощностей для каждой группы пластов по условию эффективности отработки;

– исследование зависимости транспортной работы от долевого участия различных отвалов в отвалообразовании и определение оптимального распределения между отвалами [12–15];

– определение зависимости доходности предприятия от различных вариантов режима горных работ и порядка отработки.

4. Достижение обозначенных целей позволит обоснованно заявлять о наиболее рациональном уровне производственных мощностей по группам пластов, позволяющем вести стабильную работу с минимумом экономических издержек. Опыт реализации предложенных решений возможно использовать на смежном участке рассматриваемого месторождения, где отработка осуществляется в похожих горно-геологических условиях. Единственным существенным различием является отсутствие внешнего отвала со стороны рабочего борта, что в свою очередь еще активнее снижает эффективность при концентрации работ на верхней группе пластов.

Выводы

1. В статье приведены результаты анализа горно-геологических условий Бейского месторождения каменного угля и оценка их влияния на выбор схемы вскрытия и порядка отработки.

2. В результате анализа определены предпосылки для выбора существующей схемы вскрытия и порядка отработки, которые позволили осуществить ввод в эксплуатацию с минимальными экономическими издержками. Анализ также показал, что дальнейшее развитие принятого порядка отработки приведет к повышению экономических издержек из-за невозможности полноценного использования выработанного пространства.

3. Для минимизации прогнозируемых рисков определены первоначальные задачи дальнейшего исследования, по результатам которых будут разработаны и предложены решения по оптимизации порядка отработки.

4. Отмеченные в данной работе риски приведенной схемы вскрытия и порядка отработки могут быть учтены при проектировании месторождений с аналогичными условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кортелев О.Б., Ческидов В.И., Норри В.К. Влияние параметров рабочей зоны на режим горных работ и границы карьеров. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2011; 5: 53-59.
Korteleev O.B., Cheskidov V.I., Norri V.K. Influence of working area parameters on the mining mode and quarry boundaries. *Physical and technical problems of mineral development*. 2011; 5: 53-59. (In Russ.).

2. Таланин В.В., Бехер В.Г., Казаков В.А. Особенности регулирования режима открытых горных работ в условиях волатильности рынка угля. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2023; 5: 142-154.
Talanin V.V., Bekher V.G., Kazakov V.A. Features of regulation of open-pit mining mode in conditions of coal market volatility. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2023; 5: 142-154. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_5_0_142.
3. Канзычаков С.В., Лапаев В.Н., Соколовский А.В. Развитие горных работ на разрезе: методический подход к управлению. *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова*. 2012; 3: 73-76.
Kanzychakov S.V., Lapaev V.N., Sokolovsky A.V. Development of open-pit mining operations: a methodological approach to management. *Bulletin of Nosov Moscow State Technical University*. 2012; 3: 73-76. (In Russ.).
4. Холодняков Д.Г., Логинов Е.В. Управление режимом горных работ и углом откоса рабочего борта карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015; 2: 71-74.
Kholodnyakov D.G., Loginov E.V. Management of mining operations and the slope angle of the working side of the quarry. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 2: 71-74. (In Russ.).
5. Черепанов Е.В. Обоснование технологии горных работ на рудных карьерах, имеющих отставание по вскрыше. *Сибирский аэрокосмический журнал*. 2006; 5 (12): 267-270.
Cherepanov E.V. Justification of mining technology at ore quarries with a lag in overburden. *Siberian Aerospace Journal*. 2006; 5 (12): 267-270. (In Russ.).
6. Косолапов А.И., Черепанов Е.В. О технологических возможностях управления вскрышными работами на рудных карьерах. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)* 2013; 7: 40-46.
Kosolapov A.I., Cherepanov E.V. On the technological capabilities of managing overburden operations at ore quarries. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2013; 7: 40-46. (In Russ.).
7. Зейтинова Ш.Б., Италмасова А.Р. Регулирование режима горных работ за счет применения временных отвалов. *Труды университета*. 2020; 1 (78): 159-163.
Zeitynova Sh.B., Italmasova A.R. Regulation of the mining mode through the use of temporary dumps. *Proceedings of the University*. 2020; 1 (78): 159-163. (In Russ.).
8. Сысоев А.А., Литвин Я.О. О планировании объемов автомобильной вскрыши для размещения во временных отвалах. *Вестник КузГТУ*. 2011; 4: 45-47.
Sysoev A.A., Litvin Ya.O. On planning the volumes of automobile cuttings for placement in temporary dumps. *Bulletin of KuzSTU*. 2011; 4: 45-47. (In Russ.).
9. Косолапов А.И., Кисляков В.Е., Федотов А.С., Шварцкопф А.В. Условия и проблемы разработки Бейского месторождения каменного угля. *Маркшейдерия и недропользование*. 2025; 1: 25-29.
Kosolapov A.I., Kislyakov V.E., Fedotov A.S., Schwarzkopf A.V. Conditions and problems of development of the Beyskoye coal deposit. *Mine surveying and subsoil use*. 2025; 1: 25-29. (In Russ.).
10. Еременко Е.В., Косолапов А.И. К вопросу управления техногенным ресурсом карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2015; 1-1: 249-259.
Eremenko E.V., Kosolapov A.I. On the issue of quarry technogenic resource management. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 1-1: 249-259. (In Russ.).
11. Еременко Е.В. Обоснование направления развития фронта горных работ на основе закономерностей формирования техногенного ресурса. *Горная промышленность*. 2016; 3 (127): 86-88.
Eremenko E.V. Justification of the direction of development of the mining front based on the patterns of formation of the technogenic resource. *Mining industry*. 2016; 3 (127): 86-88. (In Russ.).
12. Селюков А.В. О технологической значимости внутреннего отвалообразования при открытой разработке угольных месторождений Кемеровской области. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2015; 5: 23-34.
Selyukov A.V. On the technological significance of internal waste dumping during open-pit mining of coal deposits in the Kemerovo region. *Physical and technical problems of mineral development*. 2015; 5: 23-34. (In Russ.).
13. Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К. Оптимальное распределение объемов вскрышных пород между внешним и внутренним отвалами в пределах карьерного поля. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012; 9: 47-55.
Rakishev B.R., Moldabaev S.K. Optimal Distribution of Overburden Volumes between External and Internal Dumps within a Quarry Field. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2012; 9: 47-55. (In Russ.).
14. Селюков А.В. Оценка численного моделирования процесса адаптации внутреннего отвалообразования к режиму действующих карьерных полей Кемеровской области. *Известия ТПУ*. 2015; 12: 60-71.
Selyukov A.V. Evaluation of Numerical Modeling of the Adaptation Process of Internal Dumping to the Regime of Operating Quarry Fields in Kemerovo region. *TPU Bulletin*. 2015; 12: 60-71. (In Russ.).
15. Радченко С.А., Левченко Я.В. Формирование вскрышных грузопотоков при отработке крупных угольных брахисинклиналей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013; 6: 52-57.
Radchenko S.A., Levchenko Ya.V. Formation of Overburden Freight Flows during Development of Large Coal Brachysynclines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2013; 6: 52-57. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Виктор Евгеньевич Кисляков –

д-р техн. наук, профессор кафедры открытых горных работ Института цветных металлов Сибирского федерального университета, 660025, г. Красноярск, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Viktor E. Kislyakov –

Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Open-pit Mining Department of the Institute of Non-Ferrous Metals of the Siberian Federal University, 660025, Krasnoyarsk, Russian Federation

Андрей Валериевич Шварцкопф –

аспирант кафедры открытых горных работ Института
цветных металлов Сибирского федерального
университета, 660025,
г. Красноярск, Российская Федерация

Артём Сергеевич Федотов –

аспирант кафедры открытых горных работ Института
цветных металлов Сибирского федерального университета,
660025, г. Красноярск, Российская Федерация; e-mail:
ar.fedotow@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9552-2956>

Критерии авторства: Авторы внесли равный вклад в
проведение исследования и подготовку статьи.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии
конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 14.07.2025.

Поступила после рецензирования: 07.09.2025.

Принята к публикации: 11.07.2025

Andrey V. Schwarzkopf –

PhD student, Department of Open Pit Mining, Siberian Federal
University, 660025, Krasnoyarsk, Russian Federation

Artem S. Fedotov –

PhD student, Department of Open Pit Mining, Siberian Federal
University, 660025, Krasnoyarsk, Russian Federation; e-mail:
ar.fedotow@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9552-2956>

Contribution: The authors contributed equally to the research
and preparation of the manuscript.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Article info

Received: 14.07.2025.

Revised: 07.09.2025.

Accepted: 11.07.2025.