

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 622.221.2
DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-3-17-25



ОБЗОР ПОДХОДОВ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ВСКРЫТИЯ, ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ И ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ МУЛЬДООБРАЗНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЯ

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

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Аннотация. Актуальность работы. На основании данных, находящихся в открытом доступе, о состоянии сырьевой базы страны и экономических результатах ведения горных работ по отчетным периодам определено, что угольная промышленность в стране демонстрирует стремление к развитию. Но современная геополитическая обстановка и связанная с ней санкционная нагрузка негативно сказываются на показателях эффективности и препятствуют зародившемуся развитию угольной промышленности. Уход основных потребителей и перераспределение потоков сбыта значительно сказались на горнодобывающих предприятиях и на конъюнктуре рынка в целом. Поэтому разработка и внедрение новых решений, направленных на повышение эффективности освоения месторождений, является актуальной задачей. **Цель работы.** Провести анализ предложений, находящихся в открытом доступе, результатом которых является повышение рентабельности отработки угольных месторождений за счет оптимизации таких параметров, как схема вскрытия, порядок отработки и отвалообразования, регулирование режима горных работ, и выделить в предложенных решениях слабые стороны, которые оказывают влияние на ведение работ, но в настоящий момент не приняты во внимание. Выбранные направления имеют последовательную взаимосвязь и поэтому рассматриваются совместно. **Результаты работы.** По итогам анализа собранной информации отмечено, что предложения по оптимизации горных работ не учитывают все особенности отработки угольных месторождений открытым способом и в настоящий момент не позволяют решить часть проблем для предприятий, имеющих дефицит выработанного пространства для внутренних отвалов, площадей под внешние отвалы и смежные лицензии других недропользователей, ограничивающие эти площади. По результатам работы определена дальнейшая цель исследования.

Ключевые слова: уголь, угольные месторождения, вскрытие, порядок отработки, режим горных работ, отвалообразование

© Кисляков В.Е., Шварцкопф А.В., Федотов А.С., 2025

Для цитирования

Кисляков В.Е., Шварцкопф А.В., Федотов А.С. Обзор подходов в решении проблем вскрытия, порядка отработки и отвалообразования мультимодальных залежей угля // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №3. С. 17-25. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-17-25>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

REVIEW OF APPROACHES TO SOLVING PROBLEMS OF OPENING, MINING PROCEDURE AND DUMPING OF SYNCLINAL COAL DEPOSITS

Kislyakov V.E., Shwartskopf A.V., Fedotov A.S.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. Relevance. Based on publicly available data on the state of the country's raw material base and the economic results of mining operations for the reporting periods, it has been determined that the coal industry in the country demonstrates a desire to develop. However, the current geopolitical situation and the associated sanctions burden have a negative impact on performance indicators and hinder the nascent development of the coal industry. The departure of key consumers and the redistribution of sales flows have had little significant on mining enterprises and the market situation as a whole. Therefore, the development and implementation of new solutions aimed at increasing the efficiency of deposit development is an urgent task. **Objectives** are to analyze proposals that are publicly available, the result of which is an increase in the profitability of coal deposit development by optimizing such parameters as the opening scheme, the order of development and dumping, regulation of the mining mode, and to highlight the weaknesses in the proposed solutions that affect the conduct of work, but are currently not taken into account. The selected areas have a consistent interrelation and are therefore considered together. **Result.** Based on the results of the analysis of the collected information, it was noted that the proposals for optimizing mining operations do not take into account all the features of open-pit coal mining and currently do not allow solving some of the problems for enterprises that have a deficit of developed space for internal dumps, areas for external dumps and related licenses of other subsoil users limiting these areas. Based on the results of the work, the further goal of the study was determined.

Keywords: coal, coal deposits, opening, mining procedure, mining mode, waste disposal

For citation

Kislyakov V.E., Shwartskopf A.V., Fedotov A.S. Review of Approaches to Solving Problems of Opening, Mining Procedure and Dumping of Synclinal Coal Deposits. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 3, pp. 17-25. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-17-25>

Введение

Уголь – это одно из самых распространённых и востребованных полезных ископаемых в мире. Твёрдое топливо занимает второе место по востребованности в мире. Общие мировые запасы разведанного угля превышают 1 трлн т. В России уголь относится к первой группе полезных ископаемых, сырьевая база которых способна обеспечить потребности экономики страны в долгосрочной перспективе, без привлечения дополнительных средств на геологоразведочные работы [1].

Российская Федерация входит в ТОП-10 стран по количеству разведанных запасов угля и занимает 4-е место, а по добыче 6-е место среди мировых лидеров. Запасы угля сконцентрированы в 22-х угольных бассейнах и составляют 274 млрд т.

По результатам исследования производственных показателей угледобывающих предприятий, объем угледобычи в России с каждым годом увеличивается и за последние 10 лет рост составил более 40% (рис. 1) [2-4].

Основываясь на данных, приведенных выше, можно сделать вывод о том, что угольная отрасль – развивающееся направление в стране и, как и любая другая развивающаяся сфера, нуждается в постоянной разработке и внедрении принципиально новых решений, которые позволят повысить эффективность

ведения работ, снизить производственные и сопутствующие затраты.

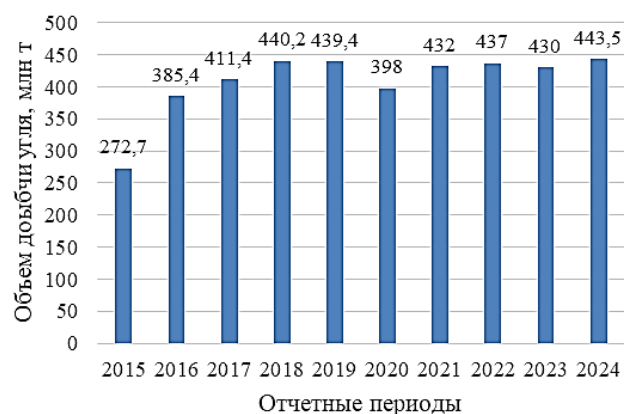


Рис. 1. Объемы добычи угля в РФ за последние 10 лет
Fig. 1. Coal production volumes in the Russian Federation over the past 10 years

Принимая во внимание тот факт, что на протяжении нескольких лет происходит формирование новых центров угледобычи в местности с суровым климатом и горно-геологическими условиями (Арктика, Чукотский АО, полуостров Таймыр), которые осложнены изменчивым рельефом и морфологией залежи,

предварительная апробация новых решений позволит в дальнейшем применять полученный опыт с большей эффективностью при отработке месторождений в указанных регионах.

Наиболее яркими примерами факторов, которые влияют на эффективность освоения таких месторождений, являются: направление развития и режим горных работ [5]; схема вскрытия месторождения [6]; технология ведения работ, технология и порядок отвалообразования [7]. Указанные факторы зависят в первую очередь от геологического строения, которое может быть осложнено изменчивостью угла падения пласта(-ов), их мощностью, формой границ пласта в плане, наличием тектонических сдвигов и прочих ограничивающих факторов (в том числе правоустанавливающих).

В связи с тем, что мультислойные залежи угля могут быть представлены несколькими пластами (до 10-ти и более), которые разделены между собой междупластем разной мощности, существуют примеры, когда месторождение вскрывают не на всю глубину сразу (не до нижнего пласта) и ведут развитие горных работ по более мощному пласту, создавая при этом отдельные рабочие зоны, которые могут иметь различную скорость развития и эффективность отработки. Наиболее полно указанная проблема описана в работе [8].

Такой порядок отработки и поэтапного вскрытия месторождения безусловно приносит положительный экономический эффект, особенно на первоначальных этапах эксплуатации, но в то же время создает неблагоприятные условия для дальнейшего развития горных работ. Концентрация работ на верхних пластах не позволяет вести внутреннее отвалообразование из-за наличия нижележащих пластов, отработка которых предусматривается более поздними периодами. А отсутствие возможности строительства внутренних отвалов в совокупности с постоянными ростом расстояния транспортирования по мере развития рабочей зоны повышают затраты на ведение вскрышных работ, которые могут достигнуть критической точки, при которой отработка станет невыгодной. Поэтому при отработке месторождений такого типа необходима тщательная проработка основных этапов (схема вскрытия, порядок отработки, уровень производственной мощности по разным рабочим зонам, распределение грузопотоков на внутренний и внешний отвалы).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что повышение эффективности освоения месторождений указанного типа возможно за счет обоснования рационального порядка отработки и отвалообразования, режима горных работ и является актуальной задачей, которая позволит не только повысить рентабельность отработки, но и снизить риски ее временного снижения из-за указанных проблем.

Материалы исследований

Для оценки глубины изученности проблем вскрытия, порядка отработки и отвалообразования при отработке угольных месторождений открытым и комбинированным способами был проведен анализ научных трудов и базовой научной литературы, находящихся в открытом доступе на различных информационных ресурсах.

Анализ литературы позволил сделать вывод, что принципиально новых классификаций способов вскрытия исследователями не представлено. Все решения основываются на использовании уже известных классификаций, представленных такими учеными, основоположниками теории вскрытия, как Е.Ф. Шешко, А.И. Арсентьев, В.В. Ржевский.

Используя известные классификации, Арсентьев А.И. предложил оригинальную классификацию способов вскрытия, которая охватывает все возможные типы вскрывающих выработок и условия их использования. Ржевским В.В. была также предложена альтернативная классификация способов вскрытия, которая характеризует способ вскрытия не только по типу выработки, но и по времени существования, наклону, числу обсуживаемых горизонтов и характеру движения транспортных средств.

Следует отметить, что классификации способов вскрытия месторождений не несут информации касемо направлений транспортирования. Описание направления транспортирования вскрышных пород и полезного ископаемого отмечается в классификации систем разработки, представленной Шешко Е.Ф. Для получения представления о степени изученности проблем вскрытия угольных месторождений, а также изученности направлений, имеющих прямую связь со вскрытием (порядок отработки, режим горных работ, отвалообразование), произведен анализ предлагаемых решений.

Результаты анализа и их обсуждение

Уровень производственной мощности предприятия и режим горных работ оказывают прямое влияние на схему вскрытия (количество выработок и места их заложения). Существуют различные научные предложения по управлению режимом горных работ, такие как формирование нерабочего борта разреза и отработка запасов по флангам мульды с меньшим коэффициентом вскрыши, изменение рабочего угла откоса борта за счет изменения системы разработки и регулирование режима горных работ на основании анализа сдерживающих факторов и резервов управления [9-11]. Предложенные варианты в указанных работах позволяют снизить затраты на производство горных работ на многие годы за счет переноса наибольших капиталовложений на более поздние периоды, но не рассматривается дальнейшая отработка уже с учетом сформировавшихся условий, образуя-

щихся в результате реализации предложенных решений, которая может оказаться малоэффективной.

Вопросами уровня производственной мощности также занимаются иностранные исследователи. В работе [12] отмечается прямая зависимость производственной мощности от длины фронта работ и скорости годового подвигания. Зависимость подтверждается на примере одного из месторождений, для которого было рассмотрено несколько вариантов развития и выбран оптимальный.

При проработке вариантов, повышающих эффективность вскрытия, рассматриваются различные варианты типов выработок, мест заложения и их сроков службы. Автором работы [13] рассмотрены четыре группы факторов, определяющих схему вскрытия. В результате работы отмечено, что при выборе рационального варианта объектом исследования должна быть не только схема вскрытия, но и ее параметры, а ее экономическая оценка позволит выявить эффективность схемы вскрытия и принятых параметров, области применения тех или иных схем для рассматриваемых условий в течение интересующего периода.

Расположение выработки со стороны рабочего борта на угольных разрезах с дефицитом выработанного пространства для внутреннего отвалообразования и перераспределение части вскрышного грузопотока на ближайшие отвалы, используя при этом магистральный транспорт, позволяет сократить затраты на 25-30% [14]. Для эффективного применения таких решений требуется определение глубины заложения траншей и рациональная зона использования [15]. Использование такой схемы вскрытия подразумевает применение комбинации автомобильного и конвейерного транспорта. Но, несмотря на эффективность предлагаемых решений, их реализация наиболее целесообразна при наличии свободных площадей под строительство внешнего отвала со стороны рабочего борта.

Эффективность применения комбинированного транспорта также отмечена в работе [16], где в условиях сложного рельефа возникают проблемы в применении автомобильно-железнодорожного транспорта и наиболее целесообразным отмечена комбинация автомобильного и конвейерного транспорта, позволяющая снизить расстояние транспортирования автосамосвалами до перегрузочных пунктов и создать возможность разделения грузопотоков.

Порядок отработки определяется на первоначальных этапах проектирования и поддается изменению с серьезными финансовыми преградами, поэтому верно выбранный порядок отработки является одним из многих факторов, обеспечивающих эффективную отработку.

Учитывая прямую связь схемы вскрытия с порядком отработки месторождения, исследователи предлагают варианты блочной отработки карьерных полей для распределения грузопотоков. Авторами работ [17-19] изучены результаты применения блочного

способа отработки и определена зависимость размеров первого и последующих блоков. На основании зависимости составлен алгоритм определения размера блока, при котором появляется возможность размещать больше вскрышных пород во внутреннем отвале в сравнении с проектными решениями. Предложенные решения позволяют повысить коэффициент использования выработанного пространства и снизить количество площадей, занимаемых внешними отвалами.

Изменение порядка отработки и акцент на добыче более качественных углей позволяет повысить доходность предприятия и сохранить устойчивость разреза в кризисные периоды [20]. Но и такие решения должны быть приняты с учетом дальнейшего развития, так как изменение порядка отработки приводит к частичному изменению схемы вскрытия, и принимаемые решения не должны создавать еще более сложные условия для последующих периодов, а также исключить вероятность выборочной отработки месторождения.

Большое внимание ученые уделяют вопросам вскрытия и перехода на комбинированный способ разработки (открыто-подземный). Так, в работе [21] приведены требования к схеме вскрытия, которые должны быть учтены для реализации перехода на комбинированный способ отработки.

Авторы работы [22] рассматривают возможность сбалансированного развития открытой и подземной отработки, при которой обеспечивается полнота выемки ресурсов, повышение производительности без увеличения нагрузки на окружающую среду. Стоит также учитывать, что при комбинированном способе отработки немаловажным фактором является точное обоснование глубины разработки, при котором должно производиться вскрытие угольных пластов подземными горными выработками [23].

Схемы вскрытия и порядок отработки имеют прямую связь с вопросами отвалообразования, а именно распределение объемов вскрышных пород между внутренними и внешними отвалами с учетом уменьшения объема транспортной работы, эффективность использования выработанного пространства. В работах [24, 25] произведен анализ факторов, влияющих на эффективность внутреннего отвалообразования, и приведена классификация внутренних отвалов с учетом специфики их строительства. В итоге исследования отмечается значимость повышения эффективности освоения угольных месторождений за счет повышения вместимости внутренних отвалов.

Авторами работы [26] рассмотрено влияние схемы вскрытия породных горизонтов на сроки начала формирования внутреннего отвала и определен рациональный порядок их отработки, позволяющий использовать выработанное пространство на ранних этапах отработки. Поэтому необходимо предусматривать такие схемы вскрытия и порядок отработки, при которых в отработку вовлекаются все пласты, что

позволяет обеспечить предприятие выработанным пространством на ранних этапах эксплуатации.

В работе [27] авторами обоснована важность горно-геометрического анализа, на основании которого определено направленное развитие горных работ таким образом, при котором емкость внешнего отвала уменьшается на 47%, что позволяет снизить расстояние транспортирования и площади отчуждаемых земель.

Для определения мест заложения внутренних отвалов в работе [28] предложен гистограммный метод исследования, позволяющий по ряду критериев определить место складирования вскрышных пород, что позволит повысить эффективность отработки месторождений. Наиболее применим указанный подход для месторождений с пластами наклонного и крутого падения, где применяют углубочные системы разработки.

Доказано, что для снижения транспортной работы и соответствующего повышения эффективности транспортирования вскрышных пород следует не только располагать отвал на минимальном расстоянии, но и уделять внимание его форме, которая также оказывает влияние на транспортные затраты [29].

Неоспоримым фактом является то, что внутреннее отвалообразование имеет большую эффективность в сравнении с внешним, но условия ведения работ не всегда позволяют вести внутреннее образование. В таких условиях является эффективным использование выработанного пространства смежных отработанных участков (при их наличии) [30]. Данный способ позволяет снизить количество отчуждаемых земель под отвалы, а также появляется возможность ликвидации горных выработок прошлых лет, что положительно сказывается на экологической обстановке района ведения работ. Также применительно к углубочным системам разработки переход на поперечные системы позволяет в сжатые сроки обеспечить предприятие выработанным пространством, что особенно важно при дефиците площадей под отвалы [31, 32].

Нередки случаи дефицита площадей под отвалообразование. В таком случае возможно использование временных отвалов с точным определением сроков существования таких отвалов. Такое решение позволит уменьшить среднее расстояние транспортирования и наиболее эффективно перераспределять автосамосвалы между забоями [33].

Известны обрабатываемые месторождения, в результате эксплуатации которых выработанное пространство не заполняется полностью до уровня дневной поверхности вскрышными породами. Это связано с неравенством вынимаемого и складированного объемов (объем вскрышных пород в разы меньше объема полезного ископаемого). В связи с этим уделяется внимание таким понятиям, как техногенный ресурс и избыточное выработанное пространство [34, 35], а также возможности его использования. Авторами проведены исследования по определению техноген-

ного ресурса и закономерностям его формирования на различных предприятиях и предложены варианты его использования. Основываясь на упомянутых выше исследованиях по использованию избыточного внутреннего пространства, в работе [36] определена зависимость развития карьерного поля и внешнего отвала, на основании которой определена точка, при достижении которой заполнение избыточного выработанного пространства будет эффективным.

Кроме того, существуют примеры месторождений, когда, наоборот, невозможно разместить весь объем вскрышных пород в выработанном пространстве разреза. В таком случае важно определение момента, при котором возникает дефицит выработанного пространства [37]. Существуют классификации выработанного пространства, где классификационным признаком выбрана форма в профиле и предложено шесть вариантов классификаций. Используя предложенную классификацию, появляется возможность дать предварительную оценку вместимости выработанного пространства, тем самым понять, потребуется ли отчуждение земель под внешние отвалы и в каком количестве [38]. Работа [39] рассматривает зависимость эффективности освоения месторождения от затрат на отвалообразование и ликвидацию экологических последствий.

В итоге работ отмечено, что данному направлению не уделено достаточного внимания и следует более подробно планировать порядок отвалообразования с использованием математических методов. Авторами работ [40, 41] предложен один из методов планирования с применением программирования, в результате применения которого прогнозируется рост чистой прибыли предприятия.

Выводы

Проведенный анализ научных трудов о проблематике вскрытия, порядка отработки угольных месторождений открытым способом и ведения отвалообразования предлагает решение многих комплексных проблем при отработке угольных месторождений различного типа. Предложенные решения позволяют повысить эффективность освоения месторождений за счет изменения схем вскрытия и порядка отработки. Рассматриваются различные, наиболее эффективные варианты ведения отвальных работ, а также способы дальнейшего использования отвалов и выработанного пространства. Но данные подходы не имеют предложений по решению проблем отработки месторождений, имеющих следующие условия:

- отработка групп угольных пластов отдельными рабочими зонами и определение сроков вскрытия этих рабочих зон;
- различные скорости подвигания горных работ в отдельных рабочих зонах и определение скорости подвигания с учетом их взаимного развития;

– отсутствие или минимальное количество площадей для внешнего отвалообразования, при минимальном объеме выработанного пространства;

– наличие смежных лицензий других недропользователей.

Проведенный анализ подтверждает необходимость решения указанных проблем. Для решения выявленных недостатков необходимо обосновать порядок отработки и скорость подвигания горных работ для месторождений или их участков, отрабатываемых отдельными рабочими зонами в увязке с условием, что отвалообразование преимущественно будет осуществляться в выработанном пространстве.

Список источников

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году» / Тетенькин Д.Д., Петров Е.И. и др. М., 2022. С. 622.
2. Петренко И.Е. Итоги работы угольной промышленности России за 2022 год // Уголь. 2023. № 3. С. 21-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-21-33.
3. Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год // Уголь. 2024. № 3. С. 18-29. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.
4. Новак А.В. ТЭК России – надежность, устойчивость, развитие // Энергетическая политика. 2025. №1. С. 6-12. DOI: 10.46920/2409-5516_2025_01204_6.
5. Таланин В.В., Бехер В.Г., Казаков В.А. Особенности регулирования режима открытых горных работ в условиях волатильности рынка угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 5. С. 142–154. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_142.
6. Бурмистров К.В., Гавришев С.Е., Калмыков В.Н. Влияние схемы вскрытия на параметры горнотехнической системы при отработке жильных месторождений открытым способом // Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции, Магнитогорск, 19–20 ноября 2020 года. Вып. 5. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2020. С. 165-168. EDN QYMMFU.
7. Селюков А.В. О технологической значимости внутреннего отвалообразования при открытой разработке угольных месторождений Кемеровской области // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 5. С. 23-34. EDN UNXOIL.
8. Условия и проблемы разработки Бейского месторождения каменного угля / Косолапов А.И., Кисляков В.Е., Федотов А.С., Шварцкопф А.В. // Маркшейдерия и недропользование. 2025. Т. 9. №25(1). С. 25-29. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-25-29>.
9. Черских О.И. Стратегия и параметры развития горных работ на угольном разрезе // ГИАБ. 2016. №5. С. 392-400.
10. Холодников Д.Г., Логинов Е.В. Управление режимом горных работ и углом откоса рабочего борта карьера // ГИАБ. 2015. №2. С.71-74.
11. Григорьев С.Н., Моргунов И.В. Обоснование наиболее эффективного порядка ведения горных работ при разработке мультиморфных залежей средних размеров // ГИАБ. 2015. №2. С. 41-51.
12. Research on production capacity planning method of open-pit coal mine / Liu G., Guo W., Chai S. et al. // Sci Rep 13, 8676 (2023). Pp. 1-16.
13. Колесников В.Ф. Определяющие факторы схем вскрытия разрезов Кузбасса // ГИАБ. 1999. №6. С. 6-9.
14. Формирование схем вскрытия со стороны рабочих бортов карьеров, отрабатывающих угольные месторождения брахисинклинального типа / Супрун В.И., Радченко С.А., Левченко Я.В., Бурцев С.В., Минибаяев Р.Р. // Уголь. 2017. №8 (1097). С. 94-99.
15. Определение параметров и зон использования капитальных траншей, закладываемых со стороны рабочих бортов карьеров / Бурцев С.В., Матвеев А.В., Супрун В.И., Радченко С.А., Левченко Я.В. // Уголь. 2018. №3 (1104). С. 43-49.
16. Колесников В.Ф., Чикишев И.А. Особенности формирования грузопотоков на разрезах южного Кузбасса // Вестник КузГТУ. 2012. №4(92). С. 26-28.
17. Селюков А.В., Герасимов А.В. Проектирование параметров блокового способа открытой угледобычи с применением автотранспортной технологии // Вестник КузГТУ. 2024. №2. С. 68-78.
18. Селюков А.В., Герасимов А.В. Регулирование дисбаланса объемов отвалообразования при блоковом способе отработки карьерных полей угольных разрезов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2024. №3. С. 313-328.
19. Селюков А.В., Герасимов А.В. Блоковый способ отработки карьерных полей как инструмент снижения воздействия на окружающую среду в условиях интенсификации производства // Известия ТПУ. 2024. №10. С. 178-188.
20. Канзычаков С.В. Обоснование направлений развития и режима горных работ на угольных разрезах в условиях изменчивой внешней среды // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). 2013. № 10. 24 с.
21. Сенкус В.В., Абрамкин Н.И., Сенкус Вал В. Особенности вскрытия угольного месторождения при комбинированной отработке пластов // ГИАБ. 2018. №7. С.47-53.
22. Тюленева Т.А., Шишков Р.И. Совершенствование технологии вскрытия пологих угольных пластов с применением открыто-подземного способа // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2021. № 4(146). С. 96-110. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-4-96-110.
23. Сенкус Вал В., Малофеев Д.В., Абрамкин Н.И. Оптимизация глубины вскрытия разреза при комбинированной разработке угольного месторождения // ГИАБ. 2018. №6. С. 45-54.
24. Гаврилов В.Л., Ческидов В.И., Хоютанов Е.А. Условия и закономерности формирования внутренних отвалов при открытой разработке угольных месторождений брахисинклинального типа // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 6. С. 112-123. DOI: 10.15372/FTPRPI20220612.
25. Ческидов, В.И., Резник А.В. Особенности внутреннего отвалообразования вскрышных пород при откры-

- той разработке месторождений полезных ископаемых // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 2. С. 61-68. DOI: 10.15372/FTPRPI20220206.
26. Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К. Ресурсосберегающее вскрытие при вовлечении в разработку смежного участка карьерного поля // ГИАБ. 2009. №9. С. 196-209.
 27. Мартыанов В.Л., Колесников В.Ф. Обоснование рационального порядка разработки сложно-структурных угольных месторождений // Вестник КузГТУ. 2016. №6 (117). С. 73-81.
 28. Селюков А.В. Гистограммный способ определения местоположения емкости для внутреннего отвала при открытой угледобыче в Кемеровской области // Вестник МГТУ. 2016. №1-1. С. 40-46.
 29. Оконтуривание карьерных и отвальных полей на основе минимума транспортной работы по перемещению карьерных грузов / Бурцев С.В., Каранов Д.Н., Супрун В.И., Левченко Я.В. // Уголь. 2018. №6 (1107). С.33-39.
 30. Курехин Е.В. Технологические схемы отвалообразования вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка // Известия ТПУ. 2017. №5. С. 67-82.
 31. Селюков А.В. Оценивание землеёмкости угольных разрезов видоизменением системы открытой разработки // Известия УГТУ. 2016. №3 (43). С. 82-86.
 32. Селюков А.В. О технологической значимости внутреннего отвалообразования при открытой разработке угольных месторождений Кемеровской области // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 5. С. 23-34.
 33. Литвин Я.О. Обоснование условий временного отвалообразования при поэтапном перемещении вскрышных пород карьерными автосамосвалами на разрезах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: КузГТУ, 2011. 19 с.
 34. Еременко Е.В. Обоснование направления развития фронта горных работ на основе закономерностей формирования техногенного ресурса // Горная промышленность. 2016. №3 (127). С. 86-88.
 35. Овчинников Е.Н., Остапенко А.В. Инновационный подход управления техногенным ресурсом на предприятиях «СУЭК Красноярск» с применением беспилотника // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12. С. 275-277.
 36. Селюков А.В. Контурное развитие карьерного поля и внешнего отвала в задачах сокращения избыточного выработанного пространства разрезов с автотранспортной технологией // Вестник КузГТУ. 2016. №2 (114). С.7-13.
 37. Закономерности формирования отвальных массивов при отработке крупных угольных месторождений / Супрун В.И., Радченко С.А., Левченко Я.В., Ворошилин К.С., Минибаев Р.Р., Морозова Т.А. // Уголь. 2017. №7 (1096). С. 32-38.
 38. Селюков А.В. Выработанное пространство угольных разрезов: развитие классификационных признаков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2017. №3. С.12-17.
 39. Das Ranajit, Topal E., Mardaneh Elham. A review of open pit mine and waste dump schedule planning // Resources Policy. 2023, 85. 104064, pp. 1-8. 10.1016/j.resourpol.2023.104064.
 40. Li Yu, Topal E., Williams David. Waste rock dumping optimisation using mixed integer programming (MIP) // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2013, no. 27, pp. 425-436. 10.1080/17480930.2013.794513.
 41. Fu Zhao, Asad Mohammad, Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. Engineering Optimization. 2018, no. 51, pp. 1-15. 10.1080/0305215X.2018.1476501.

References

1. Tetenkin D.D., Petrov E.I., et al. State report "On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2021". Moscow, 2022, 622 p. (In Russ.)
2. Petrenko I.E. Results of the coal industry of Russia for 2022. *Ugol* [Coal], 2023;(3):21-33. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-3-21-33. (In Russ.)
3. Meshkov G.B., Petrenko I.E., Gubanov D.A. Results of the coal industry of Russia for 2023. *Ugol* [Coal], 2024;(3):18-29. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29. (In Russ.)
4. Novak A.V. Russia's fuel and energy complex - reliability, sustainability, development. *Energeticheskaya politika* [Energy policy], 2025;(1):6-12. DOI: 10.46920/2409-5516_2025_01204_6. (In Russ.)
5. Talanin V.V., Bekher V.G., Kazakov V.A. Features of open-pit mining regulation in the context of coal market volatility. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2023;(5):142-154. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_142. (In Russ.)
6. Burmistrov K.V., Gavrishchev S.E., Kalmykov V.N. Influence of the opening scheme on the parameters of the mining and technical system during open-pit mining of lode deposits. *Sovremennye dostizheniya universitetskikh nauchnykh shkol: sbornik dokladov natsionalnoy nauchnoy shkoly-konferentsii* [Modern achievements of university scientific schools. Proceedings of the national scientific school-conference]. Magnitogorsk: Publishing House of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2020, vol. 5, pp. 165-168. EDN QYMMFU. (In Russ.)
7. Selyukov A.V. On the technological significance of internal waste dumping during open-pit mining of coal deposits in the Kemerovo region. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mineral development], 2015;(5):23-34. EDN UNXOIL. (In Russ.)
8. Kosolapov A.I., Kislyakov V.E., Fedotov A.S., Schwarzkopf A.V. Conditions and problems of development of the Beyskoye coal deposit. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine surveying and subsoil use], 2025;9(25(1)):25-29. <https://doi.org/10.56195/2079-3332-2025-25-1-25-29>. (In Russ.)
9. Cherskikh O.I. Strategy and parameters for the development of mining operations at a coal mine. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2016;(5):392-400. (In Russ.)
10. Kholodnyakov D.G., Loginov E.V. Management of the mining mode and the slope angle of the quarry working side. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2015;(2):71-74. (In Russ.)

11. Grigoriev S.N., Morgunov I.V. Justification of the most efficient order of mining operations in the development of medium-sized synclinal deposits. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2015;(2):41-51. (In Russ.)
12. Liu G., Guo W., Chai S. et al. Research on production capacity planning method of open-pit coal mine. *Sci Rep* 13. 8676, 1-16 (2023).
13. Kolesnikov V.F. Determining factors of open-pit mining schemes in Kuzbass. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 1999;(6):6-9. (In Russ.)
14. Suprun V.I., Radchenko S.A., Levchenko Ya.V., Burtsev S.V., Minibaev R.R. Formation of opening schemes from the side of the working sides of quarries developing brachysynclinal coal deposits. *Ugol* [Coal], 2017;(8(1097)):94-99. (In Russ.)
15. Burtsev S.V., Matveyev A.V., Suprun V.I., Radchenko S.A., Levchenko Ya.V. Determination of parameters and zones of use of capital trenches laid from the side of the working sides of quarries. *Ugol* [Coal], 2018;(3(1104)):43-49. (In Russ.)
16. Kolesnikov V.F., Chikishev I.A. Features of the formation of freight flows in the open pits of southern Kuzbass. *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of KuzSTU], 2012;(4(92)):26-28. (In Russ.)
17. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Design of parameters of the block method of open-pit coal mining using motor transport technology. *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of KuzSTU], 2024;(2):68-78. (In Russ.)
18. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Regulation of the imbalance of waste formation volumes in the block method of mining quarry fields of coal open pits. *Izvestiya TulaGU. Nauki o Zemle* [Bulletin of Tula State University. Earth Sciences], 2024;(3):313-328. (In Russ.)
19. Selyukov A.V., Gerasimov A.V. Block method of quarry field development as a tool for reducing environmental impact in the context of production intensification. *Izvestiya TPU* [Bulletin of TPU], 2024;(10):178-188. (In Russ.)
20. Kanzhachakov S.V. Justification of development directions and mining mode in open-pit coal mines in a changing external environment. *GIAB (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal. Otdelnye stati (specialniy vypusk))* [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). Selected articles (special issue)], 2013;(10):24 p. (In Russ.)
21. Senkus V.V., Abramkin N.I., Senkus Val V. Features of coal deposit opening during combined seam mining. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2018;(7):47-53. (In Russ.)
22. Tyuleneva T.A., Shishkov R.I. Improving the technology of opening flat coal seams using the open-underground method. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kuzbass State Technical University], 2021;(4(146)):96-110. DOI: 10.26730 / 1999-4125-2021-4-96-110. (In Russ.)
23. Senkus Val V., Malofeev D.V., Abramkin N.I. Optimization of open pit coal mine depth limit in hybrid mining method. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2018;(6):45-54. (In Russ.)
24. Gavrilov V.L., Cheskidov V.I., Khoyutanov E.A. Conditions and patterns of formation of internal dumps during open pit mining of brachysynclinal coal deposits. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mineral development], 2022;(6):112-123. DOI: 10.15372/FTPRPI20220612. (In Russ.)
25. Cheskidov V.I., Reznik A.V. Features of internal dump formation of overburden rocks during open pit mining of mineral deposits. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mineral development], 2022;(2):61-68. DOI: 10.15372/FTPRPI20220206. (In Russ.)
26. Rakishev B.R., Moldabaev S.K. Resource-saving strip mining when involving an adjacent section of a quarry field in development. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2009;(9):196-209. (In Russ.)
27. Martyanov V.L., Kolesnikov V.F. Justification of a rational order of development of complex-structured coal deposits. *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of KuzSTU], 2016;(6(117)):73-81. (In Russ.)
28. Selyukov A.V. Histogram method for determining the location of the internal dump tank during open-pit coal mining in the Kemerovo region. *Vestnik MGTU* [Bulletin of Moscow State Technical University], 2016;(1-1):40-46. (In Russ.)
29. Burtsev S.V., Karanov D.N., Suprun V.I., Levchenko Ya.V. Contouring of quarry and waste fields based on minimum transport work for moving quarry cargo. *Ugol* [Coal], 2018;(6(1107)):33-39. (In Russ.)
30. Kuryokhin E.V. Justification of the technology of waste rock dumping by a dragline in the open pit of an adjacent area. *GIAB* [Mining information and analytical bulletin], 2015;(S1-1):519-535. (In Russ.)
31. Selyukov A.V. Estimation of the earth capacity of coal mines by modifying the open-pit mining system. *Izvestiya UGGU* [Bulletin of the Ural State Mining University], 2016;(3(43)):82-86. (In Russ.)
32. Selyukov A.V. On the technological significance of internal waste dumping during open-pit mining of coal deposits in the Kemerovo region. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mineral development], 2015;(5):23-34. (In Russ.)
33. Litvin Ya.O. Obosnovanie usloviy vremennogo otvalobrazovaniya pri poetapnom peremeshchenii vskryshnykh porod karernymi avtosamosvalami na razrezakh Kuzbassa: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Justification of the conditions of temporary dumping during the stage-by-stage movement of overburden rocks by quarry dump trucks in the open pits of Kuzbass. Extended abstract of Ph.D. dissertation]. Kemerovo: KuzGTU, 2011, 19 p.
34. Eremenko E.V. Justification of the direction of development of the mining front based on the patterns of formation of the technogenic resource. *Gornaya promyshlennost* [Mining industry], 2016;(3(127)):86-88. (In Russ.)
35. Ovchinnikov E.N., Ostapenko A.V. Innovative approach to managing the technogenic resource at the enterprises of SUEK Krasnoyarsk using a drone. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Current issues of aviation and cosmonautics], 2016;(12):275-277. (In Russ.)
36. Selyukov A.V. Contour development of a quarry field and external dump in the problems of reducing excess mined-out space in open pits with motor transport tech-

- nology. *Vestnik KuzGTU* [Bulletin of KuzSTU], 2016;(2(114)):7-13. (In Russ.)
37. Suprun V.I., Radchenko S.A., Levchenko Ya.V., Voroshilin K.S., Minibaev R.R., Morozova T.A. Regularities in the formation of waste mass during the development of large coal deposits. *Ugol* [Coal], 2017;(7(1096)):32-38. (In Russ.)
38. Selyukov A.V. Mined-out space of coal open pits: development of classification features. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2017;(3):12-17. (In Russ.)
39. Das Ranajit, Topal E., Mardaneh Elham. A review of open pit mine and waste dump schedule planning. *Resources Policy*. 2023;85:104064. 10.1016/j.resourpol.2023.104064.
40. Li Yu, Topal E., Williams David. Waste rock dumping optimization using mixed integer programming (MIP). *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2013;27:425-436. 10.1080/17480930.2013.794513.
41. Fu Zhao, Asad Mohammad, Topal E. A new model for open-pit production and waste-dump scheduling. *Engineering Optimization*. 2018;51:1-15. 10.1080/0305215X.2018.1476501.

Поступила 28.02.2025; принята к публикации 08.05.2025; опубликована 30.09.2025
Submitted 28/02/2025; revised 08/05/2025; published 30/09/2025

Кисляков Виктор Евгеньевич – доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры открытых горных работ,
СФУ «Институт цветных металлов», Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Шварцкопф Андрей Валериевич – аспирант,
СФУ «Институт цветных металлов», Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.

Федотов Артем Сергеевич – аспирант,
СФУ «Институт цветных металлов», Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия.
Email: ar.fedotow@yandex.ru. ORCID 0009-0005-9552-2956.

Viktor E. Kislyakov – DrSc(Eng.), Professor, Professor of the Department of Open Pit Mining,
SFU “Institute of Non-Ferrous Metals”, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Andrey V. Shwartskopf – Postgraduate Student,
SFU “Institute of Non-Ferrous Metals”, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Artem S. Fedotov – Postgraduate Student,
SFU “Institute of Non-Ferrous Metals”, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.
Email: ar.fedotow@yandex.ru. ORCID 0009-0005-9552-2956