

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 622.822.22
DOI: 10.18503/1995-2732-2026-24-2-14-22



ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМОНАГРЕВАЮЩИХСЯ УГЛЕПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

Гузеев О.А.¹, Понамарева Е.А.¹, Пыталев И.А.²

¹Институт физики горных процессов, Донецк, ДНР, Россия

²Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. Настоящая работа посвящена выявлению и описанию особенностей комплексного использования самонагревающихся углепородных отвалов. В ходе выполнения работы применялись методы научного анализа и обобщения, а также сценарного проектирования. Самонагревающиеся углепородные отвалы представлены как многофункциональные техногенные георесурсы, отличающиеся триединством энергетического, вещественного и пространственного ресурсов. Установлены отличительные признаки таких отвалов, основными среди которых являются тепловое состояние, литолого-минералогический состав и расположение отвалов относительно геодинамически активной зоны. Показано, что в ходе освоения энергетического ресурса самонагревающийся углепородный отвал может использоваться в качестве генератора и аккумулятора тепла, а в процессах освоения вещественного или пространственного ресурсов – в качестве источника окисленных пород и элемента рельефа аккумулятивной формы соответственно. В качестве геотехнологической особенности комплексного использования самонагревающихся углепородных отвалов выделено первоочередное освоение их энергетических ресурсов, включающее утилизацию невозобновляемого тепла, сгенерированного отвалами, и возобновляемого тепла, запасенного породами приповерхностной зоны отвалов за счет поглощения солнечной радиации. В качестве биотехнологической особенности комплексного использования самонагревающихся отвальных массивов выделено создание благоприятных условий для длительной теплогенерирующей жизнедеятельности отвальной популяции микроорганизмов, что соответствует принципам биоэтики. Выявленные особенности необходимо учитывать в ходе создания и реализации сценариев комплексного использования самонагревающихся углепородных отвалов Донбасса.

Ключевые слова: углепородные отвалы, самонагревание, комплексное использование, техногенные георесурсы, популяция микроорганизмов, извлечение тепла, окисленные породы, элемент рельефа

© Гузеев О.А., Понамарева Е.А., Пыталев И.А., 2026

Для цитирования

Гузеев О.А., Понамарева Е.А., Пыталев И.А. Особенности комплексного использования самонагревающихся углепородных отвалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2026. Т. 24. №2. С. 14-22. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-2-14-22>



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

FEATURES OF THE INTEGRATED UTILIZATION OF SELF-HEATING COAL-MINE WASTE DUMPS

Guzeev O.A.¹, Ponamaryova E.A.¹, Pytalev I.A.²

¹Institute of Physics of Mining Processes, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia

²Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. This work is devoted to identifying and describing the features of the integrated utilization of self-heating coal-mine waste dumps. The research employed methods of scientific analysis and generalization, as well as scenario-based design. Self-heating coal-mine waste dumps are presented as multifunctional technogenic geo-resources characterized by the trinity of energy, material, and spatial resources. Distinctive features of such dumps have been identified, the main ones being their thermal state, lithological and mineralogical composition, and the location of the dumps relative to geodynamically active zones. It is demonstrated that during the exploitation of the energy resource, a self-heating coal-mine waste dump can be used both as a heat generator and a heat accumulator, while in the processes of exploiting material or spatial resources, it can serve respectively as a source of oxidized rocks and as an accumulative landform element. As a geotechnological feature of the integrated utilization of self-heating coal-mine waste dumps, the priority exploitation of their energy resources has been identified, including the utilization of non-renewable heat generated by the dumps and renewable heat accumulated by the near-surface rocks due to solar radiation absorption. As a biotechnological feature of the integrated utilization of self-heating waste masses, the creation of favorable conditions for the long-term heat-generating activity of the waste dump microbial population has been highlighted, which corresponds to the principles of bioethics. The identified features should be taken into account during the development and implementation of scenarios for the integrated utilization of self-heating coal-mine waste dumps in the Donbas.

Keywords: coal-mine waste dumps, self-heating, integrated utilization, technogenic geo-resources, microbial population, heat extraction, oxidized rocks, landform element.

For citation

Guzeev O.A., Ponamaryova E.A., Pytalev I.A. Features of the Integrated Utilization of Self-Heating Coal-Mine Waste Dumps. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2026, vol. 24, no. 2, pp. 14-22. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-2-14-22>

Введение

В результате многолетнего освоения угольных месторождений на территории Донбасса сформировано множество углепородных отвалов. Общий объем отходов угледобычи, накопленных в таких техногенных образованиях, превышает сотни миллионов кубических метров. Содержащиеся в отвалах (терриконах) породы часто характеризуются как углистые, пиритсодержащие. Средние по Донецкому бассейну потери угля в отвальной массе составляют около 1,5% объема его подземной добычи, а содержание горючих веществ в складированных отходах может превышать 15% [1].

Значительная часть углепородных отвалов данного региона проявляет склонность к самонагреванию и последующему самовозгоранию, что обусловлено совместным действием целого комплекса внутренних и внешних факторов [1, 2]. Одним из доминант-факторов, запускающих процесс отвального самонагревания, является жизнедеятельность бактерий. Сероокисляющие и железooksисляющие микроорганизмы разлагают в отвальной массе пирит. В процессе биохимического выщелачивания 1 моля пирита выделяется от 998 до 1350 кДж теплоты [3]. Нерассеянное тепло от разложения пирита инициирует про-

цесс самовозгорания углистых пород и угля, находящихся в отвалах.

Горение углепородных отвалов – процесс, сопровождающийся интенсивным теплохимическим загрязнением окружающей среды [4–6]. Наибольшее негативное воздействие отвальное горение оказывает на состояние атмосферного воздуха. Горящий террикон способен ежегодно выделять в атмосферу десятки тонн различных газообразных веществ. Такой отвал является источником загрязнения воздуха оксидом углерода, диоксидом серы, сероводородом, оксидом азота и метаном. В составе газовых выделений террикона могут присутствовать соединения кадмия, фосфора, мышьяка и других токсичных элементов [7].

Самонагревающиеся скопления отходов угледобычи относят к категории объектов повышенной экологической опасности. Для ликвидации очагов отвального самовозгорания обычно выполняют нагнетание воды или ингибиторов в тело террикона, а также осуществляют нанесение на его поверхность изолирующего материала. Однако результативность указанных мероприятий не всегда высока. Отвальные эндогенные очаги могут возникать и после выполнения соответствующих противопожарных мероприя-

тий. Например, подача хладагента для ликвидации очагов может вызывать перенос тепла в нижележащие слои отвальной породы, способствуя их ускоренному прогреву, тем самым повышая риск возникновения очередного пожара [1, 8].

Между тем, являясь мощными источниками загрязнения экологии, самонагревающиеся углепородные отвалы часто представляют собой длительно и устойчиво функционирующие генераторы и аккумуляторы тепловой энергии. Тепловая мощность самонагревающегося углепородного отвала может достигать $(5-8) \cdot 10^{10}$ ккал на 100 тыс. м³ отвальной массы [9]. В ходе жизненного цикла такой отвал может выступать сначала низкопотенциальным источником теплоты и характеризоваться как теплый, а затем существенно наращивать реализацию своего теплоэнергетического потенциала, становясь горячим, предельно нагретым и горящим.

Постановка задачи

Для снижения негативного воздействия углепородных отвалов Донбасса на окружающую среду необходима широкомасштабная утилизация складированных твердых отходов угледобычи. Одним из перспективных направлений такой утилизации является извлечение тепла самонагревающихся углепородных отвалов и последующее использование таких техногенных образований в качестве источников окисленных пород или элементов рельефа, обладающих аккумулятивной формой. Достичь успешной реализации данного направления возможно путем создания и воплощения соответствующих сценариев комплексного использования самонагревающихся углепородных отвалов.

Задачей настоящей работы является выявление и описание особенностей комплексного использования самонагревающихся углепородных отвалов применительно к созданию и реализации данных сценариев.

Материалы и методы исследования

В качестве основного материала для выполнения поставленной задачи использовался широкий массив научно-технической информации, отражающей современные представления об углепородных отвалах, склонных к самонагреванию и последующему самовозгоранию, а также тенденции и опыт использования накопленных в Донбассе отходов угледобычи. Поиск соответствующих публикаций произведен с использованием информационно-аналитических порталов Elibrary, Cyberleninka, Google Scholar, Elsevier и международных библиографических баз данных Web of Science и Scopus.

В ходе выполнения настоящей работы произведен анализ и обобщение научных статей и докладов, посвященных проблемам безопасности функционирования самонагревающихся углепородных отвалов, утилизации накопленных твердых отходов угледобычи, снижению негативного воздействия отвальных массивов на окружающую среду, исследованию эво-

люционирующих отвальных экосистем, архитектурно-градостроительному освоению терриконов. В процессе исследования применялся метод сценарного проектирования, который часто используется при разработке систем управления территориями, а также для выбора стратегий развития структурных объектов и инженерных сооружений, отличающихся сложностью их возведения и многофункциональностью.

Анализ и обобщение научной литературы позволили установить, что углепородные отвалы, склонные к самонагреванию и последующему самовозгоранию, описываются преимущественно с позиций дуализма характеристик таких техногенных образований. В экологическом аспекте скопления твердых отходов угледобычи характеризуются как объекты повышенной опасности и малоизученные экосистемы, а в геолого-экономическом аспекте представлены как техногенные георесурсы, освоение которых во многом зависит от уровня развития техники и технологий [10].

Вместе с тем в литературных источниках прослеживается единение экологических и геолого-экономических подходов к утилизации складированных отходов угледобычи. Наиболее четко данное единение отражено в научных статьях, так или иначе связанных с проблемами достижения устойчивого развития старопромышленных районов Донбасса, в основе которого лежит принцип сохранения баланса между освоением техногенных ресурсов, накопленных угольными предприятиями, и охраной окружающей среды [11].

В частности, в данных работах отмечено, что с ростом объема отвальных пород, прошедших биохимическое окисление, уменьшается теплоэнергетический потенциал углепородных отвалов, и одновременно возрастают валовые выбросы тепла и газообразных веществ в атмосферу такими техногенными образованиями. Иными словами, подчеркивается, что безвозвратная потеря (истощение) сосредоточенных в самонагревающихся отвалах энергетических запасов сопровождается длительным нанесением заметного ущерба окружающей среде [1].

Охват доступных источников научно-технической информации позволил установить, что большинство научных работ, посвященных утилизации накопленных в отвалах отходов угледобычи, не затрагивают проблемы освоения их теплоэнергетического потенциала. Указанные работы часто направлены на изучение углепородных отвалов как источников минерального сырья и техногенных образований, ликвидация которых позволит высвободить значительные земельные участки [12, 13].

Между тем использование отвальных пород в качестве техногенного минерального сырья весьма ограничено достаточно высоким и неравномерным содержанием в них органических горючих веществ, а малозатратную ликвидацию отвалов практически невозможно осуществить без эффективной утилизации соответствующих накопленных органоминеральных отходов.

Учитывая сказанное, применительно к разработке сценариев комплексного использования самонагревающихся углепородных отвалов представляется целесообразным различать накопленный в скоплениях отходов угледобычи георесурсный потенциал и рентабельно извлекаемые из них запасы. Георесурсный потенциал самонагревающегося углепородного отвала определим как степень его ресурсной мощности (скрытой ценности). Запасы, которые в настоящее время рентабельно извлекать из такого отвала, предлагается рассматривать как балансовые запасы, претерпевающие качественные и количественные изменения в ходе его жизненного цикла.

Активизация георесурсного потенциала углепородных отвалов дает возможность трансформировать его в эффективно осваиваемые запасы. Начальным этапом активизации георесурсного потенциала является формирование геолого-экологических предпосылок использования самонагревающихся массивов отвальных пород. В рамках создания геолого-экологических предпосылок наиболее «энергонасыщенные» отвальные массивы могут изучаться и систематизироваться как малые техногенные месторождения [14, 15] самонагревающихся осадочных горных пород [1].

Чтобы более корректно выполнить поиск наиболее «энергонасыщенных» отвальных массивов, необходимо установить отличительные признаки самонагревающихся скоплений твердых отходов угледобычи. Формирование первичной группы отличительных признаков, выполненное посредством использования известных систематизаций и классификаций

углепородных отвалов [16–19] и отходов угледобычи (ГОСТ Р 57011-2016 «Отходы добычи и обогащения углей. Классификация»), позволяет дать краткую характеристику типичному самонагревающемуся углепородному отвалу Донбасса. Указанная характеристика приведена в **таблице**.

Следует отметить, что среди представленных в краткой характеристике отличительных признаков самонагревающегося углепородного отвала, его литолого-минералогический состав и расположение относительно геодинамически активной зоны (ГдАЗ). В зависимости от температуры приповерхностной зоны самонагревающийся отвал может быть теплым (до 50°C), горячим (от 50 до 70°C), предельно-нагретым (от 70 до 80°C) и горящим (свыше 80°C) [17]. Кроме того, такой отвал, как правило, содержит значительные количества минералов пирита, углистых пород и угля, а его основание находится над ГдАЗ.

Самонагревающиеся углепородные отвалы отличаются неповторимым сочетанием энергетического, вещественного (минерального) и пространственного ресурсов (**рис. 1**). Энергетический ресурс играет ведущую роль в триединстве отвальных ресурсов. Например, балансовые запасы углистых аргиллитов, углистых алевролитов и угля в самонагревающемся отвале снижаются с повышением его возраста, а содержание окисленных пород неуклонно растет. Иными словами, в процессе истощения энергетического ресурса отвала качество вещественного ресурса существенно изменяется.

Таблица. Краткая характеристика самонагревающегося углепородного отвала Донбасса
Table. Brief characteristics of a self-heating coal-mine waste dump in the Donbas

Отличительные признаки	Региональная вариативность признаков
Тепловое состояние	Теплый, горячий, предельно нагретый, горящий, нагретый, остывший
Литолого-минералогический состав	Сульфидные (пирит, марказит), углеродистые породы и включения угля
Расположение относительно ГдАЗ	ГдАЗ пересекает отвал, отвал расположен в ГдАЗ
Источник образования	Отходы добычи угля (шахтная порода), породы терриконов
Возраст	Молодой, средневозрастной, значительно реже старый
Наличие биологической рекультивации	Не озеленённые, частично озеленённые
Высота	Высокий, средний
Форма	Конический, усеченный конический

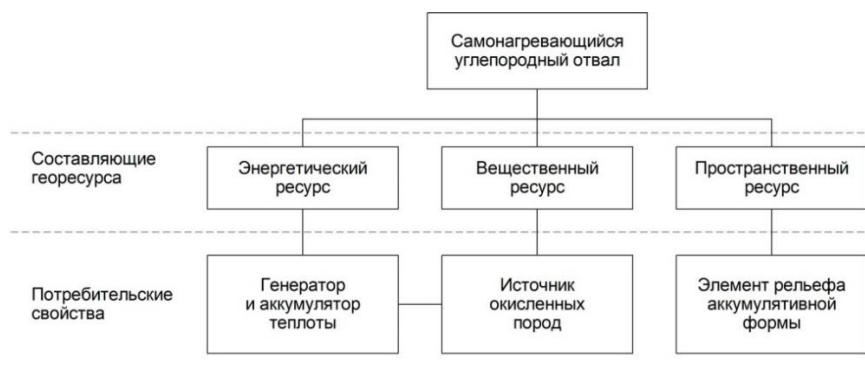


Рис. 1. Ресурсная многофункциональность самонагревающегося углепородного отвального отвала и его потребительские свойства

Fig. 1. Resource multifunctionality of a self-heating coal-mine waste dump and its consumer properties

По нашим представлениям, энергетический ресурс формируется за счет поступления в отвал топливных ресурсов (пиритсодержащих углистых пород и включений угля), а истощается (реализуется в виде отвального тепла) в том числе благодаря поступлению сопутствующих биоресурсов. Самонагревание отвала во многом детерминировано его контаминацией микроорганизмами, субстратом для которых выступает пирит. Состав и активность популяции микроорганизмов, а также упорство (сопротивление) отвального пирита биоокислению существенно влияют на возникновение, длительность и интенсивность самонагревания [20].

В ходе жизненного цикла склонный к самонагреванию и последующему самовозгоранию углеродный отвал часто последовательно проходит ряд тепловых состояний. Отвал характеризуется как теплый или горячий, когда стадия низкотемпературного окисления отходов угледобычи сменилась на стадию самонагревания. Отвал классифицируется как предельно-нагретый и горячий, если стадия самонагревания перешла в стадию самовозгорания и горения (рис. 2).

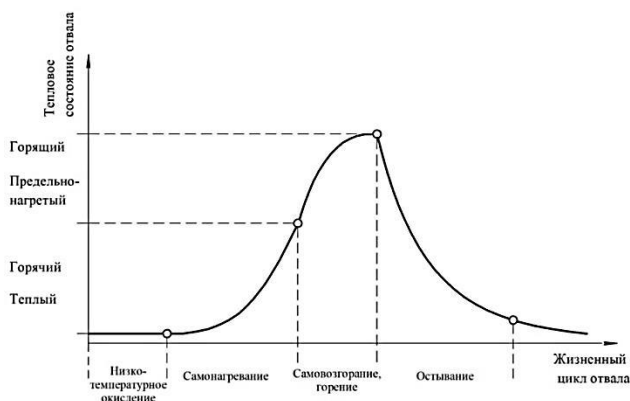


Рис. 2. Изменения теплового состояния углеродного отвала, склонного к самонагреванию и последующему самовозгоранию

Fig. 2. Changes in the thermal state of a coal-mine waste dump prone to self-heating and subsequent spontaneous combustion

Посредством введения в самонагревающийся отвал теплоуловителей можно достигнуть определенной термостабилизации состояния накопленных отходов угледобычи. Каждый теплоуловитель – функциональный элемент технологической системы извлечения тепловой энергии отвала, представляющий собой трубку или трубный пучок с циркулирующим внутри теплоносителем (например, водой). Теплоуловители размещают в скважинах, пробуренных в приповерхностной зоне самонагревающегося отвального массива и ориентированных в сторону внутреннего очага самонагревания [20].

Регулируемое отведение нерассеянной теплоты позволяет отвалу находиться в стадии контролируе-

мого самонагревания до окончания процесса биохимического окисления (рис. 3). Контроль теплового состояния самонагревающегося углеродного отвала обеспечивается с помощью сети теплопрофилеметров [20], размещенных в его приповерхностной зоне и связанных с удаленным центром мониторинга отвала и управления теплоуловителями. Для верификации показаний датчиков каждого термопрофилемера осуществляется также тепловой мониторинг отвала посредством тепловизора, установленного на беспилотном летательном аппарате, выполняющем периодические и, по необходимости, оперативные наблюдения за состоянием отвала по заданным профилям полета.

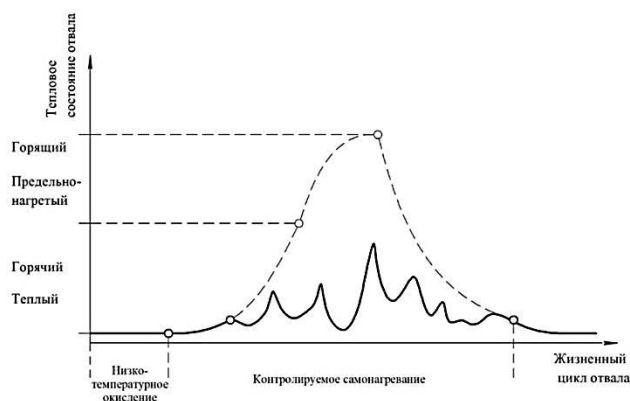


Рис. 3. Изменения теплового состояния самонагревающегося углеродного отвала, используемого в качестве генератора тепла

Fig. 3. Changes in the thermal state of a self-heating coal-mine waste dump used as a heat generator

Основанное на принципах биоэтики использование отвала в качестве теплогенератора дает возможность регулировать не только минимум отводимой тепловой мощности, необходимый для профилактики самовозгорания накопленных отходов угледобычи, но и максимум тепловой мощности, отдаваемой потребителю без нанесения ущерба популяции отвальных микроорганизмов, жизнедеятельность которых способствует устойчивой теплогенерации.

Освоение теплоэнергетических ресурсов отвалов ограничено периодом процесса самонагревания складированных отходов угледобычи. По сути, доступность использования отвалов в качестве теплогенераторов может быть охарактеризована как краткосрочная или среднесрочная в зависимости от содержаний в отвале пирита, угля и углистых пород, а также активности отвальной биоты и сезонных изменений климата. Теплые и горячие отвалы могут служить источником тепловой энергии как в период отработки шахтного поля, так и постотрабочный период, тем самым комплексно вовлекая в энергопотребление накапливаемые в отвалах шахт невозобновляемые энергетические ресурсы.

В отличие от ограниченного во времени использования углепородного отвала в качестве теплогенератора, использование такого инженерного сооружения в качестве аккумулятора, накапливающего солнечное тепло, представляется возможным в течение всего периода его функционирования. По данным Global Solar Atlas годовая прямая нормальная инсоляция DNI территории Донбасса составляет $1279 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Хотя теплопоглощающая способность отвальных пород невысокая ($10\text{--}35 \text{ Вт}/\text{м}^2$), вклад солнечной энергии в нагрев приповерхностной зоны отвалов достаточно велик. Так, для террикона с диаметром основания 200 м, высотой 50 м и углом отсыпки 35° снимаемая мощность (за счет солнечного прогрева $37\,770 \text{ м}^2$ отвальной поверхности) может составить 567 кВт [21].

Важно отметить, что наиболее эффективное извлечение тепловой энергии достигается при сочетании отборе невозобновляемого тепла, генерируемого отвалом, и возобновляемого тепла, запасенного породами приповерхностной зоны отвала за счет поглощения солнечного излучения. Если в зимний период извлечение тепловой энергии горячего отвала может осуществляться погружными теплоуловителями (рис. 4, а), то в летний период утилизация тепловой энергии остывшего и горячего отвалов может выполняться посредством поверхностных (рис. 4, б) и поверхностно-погружных (гибридных) теплоуловителей (рис. 4, в) соответственно.

Остывшие отвалы могут служить источниками окисленных пород. Устойчивое потребление продуктов отвального биохимического окисления позволяет выполнять постепенную ликвидацию техногенного образования. Одним из перспективных направлений утилизации окисленных (горелых) пород является их использование в производстве бетонных изделий для шахтного строительства [22]. Данное направление позволяет выполнить «полезное возвращение» пород (в составе необходимых изделий) в подземное пространство. Полная утилизация окисленных пород

формирует условия для использования земельных угодий, находившихся под скоплением отходов, для ведения хозяйства или градостроительства.

Если качественные характеристики отвальных окисленных пород не соответствуют требованиям промышленных потребителей, то соответствующий остывший отвал может использоваться как элемент рельефа постиндустриальной территории, обладающий аккумулятивной формой. Поверхность террикона может подлежать архитектурно-градостроительному освоению, основанному на организации агропромышленного комплекса с каскадным террасным размещением тепличных модулей, проектирование которого основано на системе пассивного использования солнечной энергии [23].

Учитывая триединство энергетического, вещественного и пространственного ресурсов самонагреваемых углепородных отвалов, в основу создания и реализации сценариев их комплексного использования целесообразно положить принцип последовательно-параллельного освоения указанных ресурсов. На рис. 5 приведена диаграмма, позволяющая продемонстрировать концепт-сценарии, опирающиеся на заданный порядок освоения георесурсного потенциала самонагревающегося отвала и попутного использования возобновляемого ресурса (солнечной энергии).

Успешная реализация сценариев комплексного использования самонагреваемых отвалов приведет к получению экологических и социально-экономических эффектов. В первую очередь к таким положительным эффектам следует отнести снижение теплотехнического загрязнения атмосферы, создание новых рабочих мест, получение товарной продукции (тепловой энергии и продуктов биохимического окисления пород), экономию природных энергоносителей (газа, мазута, угля), частичное или полное высвобождение земельных участков, находящихся под отвалами, архитектурно-градостроительное освоение постиндустриальных территорий.

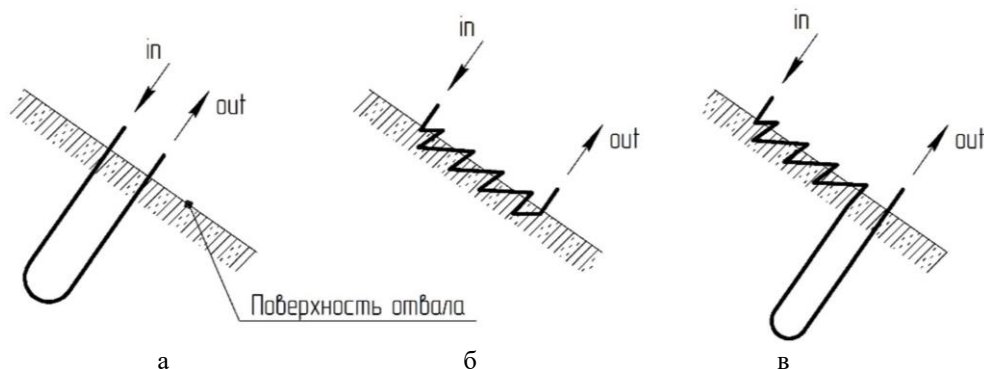


Рис. 4. Конструктивные схемы теплоуловителей: а – погружной; б – поверхностный; в – поверхностно-погружной

Fig. 4. Design schemes of heat trap-collectors: a is immersed; b is surface; v is surface-immersed

Стадия жизненного цикла отвала	Контролируемое самонагревание		Остывание	Архитектурно-градостроительное освоение	Ликвидация
	Теплый	Горячий			
Тепловое состояние отвала			Остывший		
Использование в качестве теплогенератора	■				
Использование в качестве теплоаккумулятора	■				
Использование в качестве источника окисленных пород					■
Использование в качестве элемента рельефа аккумулятивной формы				■	

Рис. 5. Диаграмма последовательно-параллельного освоения ресурсов самонагревающегося углепородного отвала
 Fig. 5. Diagram of sequential-parallel exploitation of the resources of a self-heating coal-mine waste dump

Заключение

Самонагревающиеся углепородные отвалы представляют собой многофункциональные техногенные георесурсы, отличающиеся триединством энергетического, вещественного и пространственного ресурсов. В ходе освоения энергетического ресурса самонагревающегося углепородный отвал может быть использован в качестве генератора и аккумулятора тепла, а в процессах освоения вещественного или пространственного ресурсов – в качестве источника окисленных пород и элемента рельефа аккумулятивной формы соответственно.

Основными отличительными признаками самонагреющихся углепородных отвалов Донбасса являются тепловое состояние, литолого-минералогический состав и расположение их относительно геодинамически активной зоны.

Геотехнологической особенностью комплексного использования самонагреющихся углепородных отвалов является первоочередное освоение их энергетических ресурсов, включающее утилизацию невозобновляемого тепла, сгенерированного отвалами, и возобновляемого тепла, запасенного породами приповерхностной зоны отвалов за счет поглощения солнечного излучения. Биотехнологической особенностью комплексного использования самонагреющихся углепородных отвалов является создание благоприятных условий для длительной теплогенерирующей жизнедеятельности отвальной популяции микроорганизмов.

В основу создания и реализации сценариев комплексного использования самонагреющихся углепородных отвалов Донбасса целесообразно положить принцип последовательно-параллельного освоения энергетического, вещественного и пространственного ресурсов. Оценка результативности использования самонагреющихся скоплений твердых отходов угледобычи может выполняться на основании получения сочетанных экологических и социально-экономических эффектов.

Список источников

1. Гузеев О.А., Корвякова Н.П. О классификации и обусловленности факторов самонагревания углепородного отвала Донбасса // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2024. № 2(222). С. 84-91.
2. Гамов М.И., Гордеев И.В. Основные факторы и экологические последствия самовозгорания отвалов угольных шахт Восточного Донбасса // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2017. № 2(194). С. 92-100.
3. Верех-Белоусова Е.И. Переработка отвалов угольных шахт Луганщины как техногенных месторождений металлов // Экологическая химия. 2019. Т. 28. № 2. С. 107-113.
4. Heavy metal-and organic-matter pollution due to self-heating coal-waste dumps in the Upper Silesian Coal Basin (Poland) / Nádudvari Á. et al. // Journal of Hazardous Materials. 2021, vol. 412, 125244.
5. The origin of GHG's emission from self-heating coal waste dump: Atmogeochemical interactions and environmental implications / Górka M. et al. // International Journal of Coal Geology. 2022, vol. 250, 103912.
6. Potential Water and Soil Contaminants from Coal Waste Dump Being at the Late Stage of Self-Heating (Rymer Cones, Poland) / Lupanciu M. et al. // 30th International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG 2021). – European Association of Geoscientists & Engineers, 2021, vol. 2021, no. 1, pp. 1-2.
7. Девятова А.Ю. Газофазные выбросы в атмосферу при горении угля // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 5. С. 29-34.
8. Использование очагов самовозгорания угля для получения тепловой энергии / Портола В.А., Ярош А.С., Бобровникова А.А., Портола А.А. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 5 (159). С. 92-103.
9. Ишхнели О.Г., Лиманский А.В., Воронков Г.Я. Снижение загрязнения окружающей среды при ликвидации углепородных отвалов // Уголь. 2013. № 10. С. 68-71.
10. Черникова С.А., Левицкий С.И., Торопов А.В. Использование отходов добычи и обогащения угля // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. 2023. № 10(76). С. 154-157.

11. Свечкаренко Е.Н., Трусова, Т.В., Гомаль И.И. Комплексный подход к ликвидации экологического ущерба от породных отвалов угольных шахт // Вести Автомобильно-дорожного института. 2024. № 2(49). С. 76-85.
12. Хоменко Я.В., Солдатова А.С. Оценка проблемы терриконов Донбасса // Экономічний вісник Донбасу. 2015. №1(39). С. 12-19.
13. Шаповалов В.В., Козырь Д.А. Ресурсосберегающая технология утилизации породных отвалов горнодобывающих производств // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334, № 4. С. 175-184.
14. Гавришев С. Е., Заляднов В. Ю., Пыталев И. А. Расширение области рационального использования техногенных георесурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №. 9. С. 252-258.
15. Рыльникова М. В., Радченко Д. Н., Экс В. В. Классификация техногенных георесурсов в свете перспектив комплексного освоения рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №. 2. С. 318-324.
16. Гайворонский Е.А. Композиционно-художественное освоение формы терриконов в архитектурных решениях объектов угольно-отраслевой принадлежности, а также объектов общегородского назначения // Современное промышленное и гражданское строительство. 2015. Т. 11. № 3. С. 155-156.
17. Морфогенетическая диагностика процессов почвообразования на отвалах каменноугольных разрезов Сибири / Д.А. Соколов, В.А. Андрюханов, С.П. Кулижский и др. // Почвоведение. 2015. №1. С. 106-117.
18. Батугин А.С., Кобылкин А.С., Мусина В.Р. Исследование влияния геодинамической позиции угленосных отвалов на их эндогенную пожароопасность // Записки Горного института. 2021. Т. 250. С. 526-533.
19. Монах С.И., Бафталовский Р.Э. Исследование возможности применения геотермальных тепловых насосов (ГТН) с использованием теплоты грунтов терриконов для автономного теплоснабжения // Современное промышленное и гражданское строительство. 2008. Т. 4. № 3. С. 113-118.
20. Гузев О.А., Понамарева Е.А. О предпосылках создания системы извлечения теплоты самонагревающегося угленосного отвала Донбасса // Мониторинг. Наука и технологии. 2025. №2. С. 66-72.
21. Накорчевский А.И., Недбайло А.Н., Беляева Т.Г. Извлечение возобновляемой теплоты терриконов // Промышленная теплотехника. 2007. Т. 29. №7. С. 22-26.
22. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Материалы из горелых пород для бетонной шахтной крепи // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2022. № 1(33). С. 106-114.
23. Семченков Л.В., Гайворонский Е.А. Направления апробации универсальной системы пассивного использования солнечной энергии в архитектурных решениях зданий и сооружений в городах Донбасса // Современное промышленное и гражданское строительство. 2017. Т. 13. №1. С. 5-16.
24. Severo-Kavkazskii region. *Seriya: Estestvennye nauki* [University News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series]. 2024;(2(222)):84-91. (In Russ.)
25. Gamov M.I., Gordeev I.V. Main factors and environmental consequences of spontaneous combustion of coal mine dumps in Eastern Donbass. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estestvennye nauki* [University News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series]. 2017;(2(194)):92-100. (In Russ.)
26. Verekh-Belousova E.I. Processing of coal mine dumps of Lugansk region as technogenic metal deposits. *Ekologicheskaya khimiya* [Ecological Chemistry]. 2019;28(2):107-113. (In Russ.)
27. Nádudvari Á. et al. Heavy metal-and organic-matter pollution due to self-heating coal-waste dumps in the Upper Silesian Coal Basin (Poland). *Journal of Hazardous Materials*. 2021;412:125244.
28. Górka M. et al. The origin of GHG's emission from self-heating coal waste dump: Atmogeochemical interactions and environmental implications. *International Journal of Coal Geology*. 2022;250:103912.
29. Lupanciu M. et al. Potential water and soil contaminants from coal waste dump being at the late stage of self-heating (Rymer Cones, Poland). 30th International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG 2021). European Association of Geoscientists & Engineers. 2021;2021(1):1-2.
30. Devyatova A.Yu. Gas-phase emissions into the atmosphere during coal combustion. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [University News. Mining Journal]. 2013;(5):29-34. (In Russ.)
31. Portola V.A., Yarosh A.S., Bobrovnikova A.A., Portola A.A. Use of coal spontaneous combustion centers for thermal energy generation. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kuzbass State Technical University]. 2023;(5(159)):92-103. (In Russ.)
32. Ishkneli O.G., Limanskii A.V., Voronkov G.Ya. Reduction of environmental pollution during elimination of coal waste dumps. *Ugol* [Coal]. 2013;(10):68-71. (In Russ.)
33. Chernikova S.A., Levitskii S.I., Toropov A.V. Use of coal mining and beneficiation waste. *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalya* [Bulletin of Vladimir Dahl Lugansk State University]. 2023;(10(76)):154-157. (In Russ.)
34. Svechkarenko E.N., Trusova T.V., Gomal I.I. Integrated approach to elimination of environmental damage caused by coal mine waste dumps. *Vesti Avtomobilno-dorozhnogo instituta* [Proceedings of the Automobile and Road Institute]. 2024;(2(49)):76-85. (In Russ.)
35. Khomenko Ya.V., Soldatova A.S. Assessment of the problem of Donbass spoil tips. *Ekonomichnii visnik Donbasu* [Economic Herald of Donbass]. 2015;(1(39)):12-19. (In Russ.)
36. Shapovalov V.V., Kozyr D.A. Resource-saving technology for utilization of mining waste dumps. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. 2023;334(4):175-184. (In Russ.)
37. Gavrishev S.E., Zalyadnov V.Yu., Pytalev I.A. Expansion of the rational use area of technogenic georesources. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2006;9:252-258. (In Russ.)

References

1. Guzev O.A., Korvyakova N.P. On the classification and conditionality of self-heating factors of the Donbass coal waste dump. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii*.

15. Rylnikova M.V., Radchenko D.N., Eks V.V. Classification of technogenic georesources in the context of prospects for integrated development of ore deposits. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin]. 2012;(2):318-324. (In Russ.)
16. Gaivoronskii E.A. Compositional and artistic development of spoil tip forms in architectural solutions of coal industry and urban facilities. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Modern Industrial and Civil Construction]. 2015;11(3):155-156. (In Russ.)
17. Sokolov D.A., Androkhanov V.A., Kulizhskii S.P. et al. Morphogenetic diagnostics of soil formation processes on dumps of Siberian coal pits. *Pochvovedenie* [Soil Science]. 2015;(1):106-117. (In Russ.)
18. Batugin A.S., Kobylkin A.S., Musina V.R. Study of the influence of geodynamic position of coal waste dumps on their endogenous fire hazard. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute]. 2021;250:526-533. (In Russ.)
19. Monakh S.I., Baftalovskii R.E. Study of the possibility of using geothermal heat pumps with spoil tip ground heat for autonomous heat supply. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Modern Industrial and Civil Construction]. 2008;4(3):113-118. (In Russ.)
20. Guzeev O.A., Ponomareva E.A. On prerequisites for creating a heat extraction system for a self-heating Donbass coal waste dump. *Monitoring. Nauka i tekhnologii* [Monitoring. Science and Technologies]. 2025;(2):66-72. (In Russ.)
21. Nakorchevskii A.I., Nedbailo A.N., Belyaeva T.G. Extraction of renewable heat from spoil tips. *Promyshlennaya teploekhnika* [Industrial Heat Engineering]. 2007;29(7):22-26. (In Russ.)
22. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. Materials from burnt rocks for concrete mine support. *Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy* [Innovation and Expertise: Scientific Works]. 2022;(1(33)):106-114. (In Russ.)
23. Semchenkov L.V., Gaivoronskii E.A. Directions for approbation of a universal passive solar energy use system in architectural solutions of buildings and structures in Donbass cities. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Modern Industrial and Civil Construction]. 2017;13(1):5-16. (In Russ.)

Поступила 20.11.2025; принята к публикации 21.01.2026; опубликована 30.06.2026
Submitted 20/11/2025; revised 21/01/2026; published 30/06/2026

Гузев Олег Александрович – научный сотрудник,
Институт физики горных процессов, Донецк, ДНР, Россия.
Email: oleg.coin@mail.ru. ORCID 0009-0002-2786-6077

Понамарева Елена Александровна – младший научный сотрудник,
Институт физики горных процессов, Донецк, ДНР, Россия.
Email: ponamary.ifgp@mail.ru. ORCID 0000-0002-4154-160X

Пыталев Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор, директор НИИ КОГ,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: vehicle@list.ru. ORCID 0000-0002-5415-8079

Oleg A. Guzeev – Researcher,
Institute of Physics of Mining Processes, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia.
Email: oleg.coin@mail.ru. ORCID 0009-0002-2786-6077

Elena A. Ponomaryova – Junior Researcher,
Institute of Physics of Mining Processes, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russia.
Email: ponamary.ifgp@mail.ru. ORCID 0000-0002-4154-160X

Ivan A. Pytalev – DrSc (Eng.), Professor, Director of Research Institute of Integrated Development of Georesources,
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.
Email: vehicle@list.ru. ORCID 0000-0002-5415-8079