

## ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.32

### СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ОБВОДНЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**В. И. Ческидов, А. В. Резник, А. С. Бобыльский**

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,  
E-mail: cheskid@misd.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Рассмотрены принципы классификации обводненных месторождений твердых полезных ископаемых. Установлено, что подавляющая часть классификаций разработана на основе учета сложности гидрогеологических условий месторождений, притоков воды в горные выработки и степени водообильности массивов горных пород. Показано, что группировка месторождений осуществляется, как правило, без технологической составляющей их освоения, что не позволяет провести комплексную оценку потенциальных возможностей и привлекательности минеральных ресурсов. Предложен подход и дана классификация обводненных месторождений твердых полезных ископаемых, предусматривающая их группировку по способу нейтрализации вредного влияния притоков воды в карьер и технологиям отработки залежи.

*Обводненные месторождения, твердые полезные ископаемые, гидрогеологические и инженерно-геологические условия, классификация, технология отработки, карьерное пространство*

DOI: 10.15372/FTPRPI20210307

В горнодобывающих отраслях промышленности Российской Федерации в последние десятилетия прослеживается устойчивая тенденция ухудшения качества минерально-сырьевых ресурсов и условий их добычи, что вызывает необходимость вовлечения в отработку менее привлекательных месторождений. Это касается обводненных залежей наиболее востребованных полезных ископаемых (угля, железной руды, цветных металлов и т. д.), эффективная разработка которых возможна на основе инновационных технологий и высокопроизводительных технических средств с использованием природных и техногенных ресурсов осваиваемых месторождений [1].

Опыт показывает, что разработка обводненных месторождений требует значительных затрат на проведение мероприятий по их осушению, на строительство и эксплуатацию гидротехнических сооружений, достигающих 30–40 % себестоимости 1 т добываемого сырья. Так, на Ковдорском железорудном карьере в 2011 г. расход электроэнергии на эти цели составил около 300 млн кВт·ч, или более 50 % от суммарного энергопотребления по предприятию. В табл. 1 приведены энергозатраты на водоотлив, произведенные карьерами и разрезами, эксплуатируемыми наиболее обводненные месторождения [2].

ТАБЛИЦА 1. Энергозатраты предприятий открытой добычи полезных ископаемых на водоотведение карьерных вод

Предприятие, месторождение, местоположение	Объем водопритока, м <sup>3</sup> /ч	Энергозатраты на откачку воды, кВт·ч/м <sup>3</sup>
Карьер “Мир”, алмазонасная трубка, Якутия	1200	4.20
Лебединский карьер, железорудное, КМА	4800	1.20
Карьер, полиметаллические руды, Миргалимсайское, Казахстан	10000	1.40
Карьер, золоторудное, Боголюбовское, Красноярский край	800 – 1200	0.20
Разрез Восточный, угольное, Забайкальский край	6500 – 8300	0.74
Разрез Хамба, бурогольное, земля Северный Рейн – Вестфалия, Германия	20 000	1.08
Разрез Лучегорский-1, угольное, Приморский край	14 107	0.80

Представленные данные свидетельствуют о том, что для повышения эффективности разработки обводненных месторождений твердых полезных ископаемых важное значение имеет снижение затрат на их осушение и водоотведение карьерных вод.

Гидрогеологические и инженерно-геологические условия обводненных месторождений весьма разнообразны и зависят от многих географических, геолого-структурных, гидрогеологических и горнотехнических факторов. Наибольшее влияние на обводненность оказывают климат, рельеф местности, гидросеть в районе залежи, минеральный состав, свойства и условия залегания вмещающих пород и полезных ископаемых, тектоническая нарушенность породного массива, характеристика подземных вод и водоносных горизонтов, степень осушения месторождения, техногенное обводнение территории, нарушение горными работами поверхностного стока, а также поступление воды из скважин или затопленных выработок [3].

Уровень обводненности месторождения в границах карьерного поля оценивается по статическим и динамическим запасам подземных вод в водоносных горизонтах (зонах, комплексах) с использованием следующих показателей: единичный и общий приток воды в карьер; приток воды на 1 т добытого полезного ископаемого и на 1 м<sup>2</sup> поверхности горных выработок (коэффициент водообильности); коэффициент фильтрации основного водоносного горизонта (характеристика проницаемости грунта по отношению к конкретной фильтрующей воде); водоприток в течение года относительно отработанной площади залежи. Степень обводненности определяется также по дебиту и уровню грунтовых вод, их режиму в течение года. Опытом открытых горных работ установлено, что значения этих показателей могут существенно влиять на выбор технологий отработки обводненных месторождений полезных ископаемых [4]. В табл. 2 приведена классификация шахтных и карьерных полей, составленная с учетом приведенных факторов.

ТАБЛИЦА 2. Классификация месторождений по степени обводненности (М. В. Сыроватко)

Показатель	Весьма обводненные	Обводненные	Умеренно обводненные	Слабо обводненные
Суммарный приток воды, м <sup>3</sup> /ч	> 1000	300 – 1000	100 – 300	< 100
Удельный приток воды, л·ч/м <sup>2</sup>	> 4	0.4 – 4.0	0.05 – 0.04	< 0.05
Коэффициент водообильности, м <sup>3</sup> /т	> 25	8 – 25	3.0 – 8.0	< 3.0
Коэффициент фильтрации, м/сут	> 100	5 – 100	0.5 – 8.0	< 0.5
Единичный приток воды, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	> 4	4 – 2	2.0 – 0.5	< 0.5

Известны и другие классификации месторождений полезных ископаемых, разработанные на основе степени их обводненности. Первая предложена в 1940 г. Д. И. Щеголевым, который разделил месторождения на три типа: месторождения в рыхлых и песчано-глинистых породах, в трещиноватых скальных и в карстующихся породах. Позднее С. П. Прохоров разработал классификацию угольных месторождений с учетом геологических, тектонических и мерзлотных условий. С. В. Троянский предложил разделить месторождения на две группы: месторождения, расположенные в зоне многолетней мерзлоты и вне зоны многолетней мерзлоты, с учетом литологического состава пород, тектоники и близости к открытым водотокам и водоемам. Г. Н. Каменский выделил шесть типов месторождений полезных ископаемых по характеру породы кровли и подошвы месторождения и условиям питания подземных вод. Особый интерес представляет предложенная М. Н. Альтовым и А. М. Быбочкиным классификация с группировкой месторождений по сложности геологических условий и трудности их промышленного освоения (табл. 3) [5].

ТАБЛИЦА 3. Классификация месторождений твердых полезных ископаемых по гидрогеологическим условиям их залегания

Группа, степень сложности гидрогеологических условий	Приток воды в карьер, м <sup>3</sup> /ч	Комплекс вмещающих пород	Связь с поверхностными водами и базисом эрозии	Полезные ископаемые
I. Простые	> 200	Песчано-глинистые нецементированные	Залегают выше местного базиса эрозии, с поверхностными водотоками связи не имеют	Бурый уголь, марганцевые руды, россыпные месторождения золота, платины и других редких металлов, бурые железняки
II. Средней сложности	200 – 500	Скальные или полускальные. Обычно перекрыты рыхлыми образованиями различной мощности	Расположены ниже местного базиса эрозии	Железные руды, уголь, цветные и редкие металлы, строительный камень
III. Сложные	500 – 1000	Карбонатные, значительно закарстованные. Весьма неустойчивые и со слабой водоотдачей	Условия благоприятны для накопления значительных запасов подземных вод	Бокситы, никелевые руды, уголь, гипс, горючие сланцы
IV. Очень сложные	1000 – 2000	Залегают в зоне многолетней мерзлоты, под крупными реками и водоемами. Зачастую перекрыты толщей рыхлых образований, обильно насыщенных водой	Вмещающие породы перекрыты мощной толщей обильно насыщенных водой рыхлых образований	Твердые полезные ископаемые, залегающие в зоне многолетней мерзлоты

Выделяются четыре группы месторождений с гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями — от простых, не требующих проведения специальных осушительных мероприятий, до очень сложных, отработка которых потребует выполнения значительного объема работ по снижению напора подземных вод или осушению продуктивной толщи.

Некоторые исследователи группируют месторождения по их генезису с фильтрационной способностью горных пород. В [6] выделено четыре типа месторождений, приуроченных к комплексам горных пород: 1 — скальные; 2 — осадочные сложного строения; 3 — скальные и полускальные; 4 — сильно раздробленные тектоническими нарушениями и карстующиеся. В соответствии с водопроницаемыми свойствами пород предполагаются и способы осушения продуктивной толщи — от организованного водоотлива до подземного и их комбинаций.

Помимо обводненности месторождений, в числе основных факторов, значительно влияющих на технологии их обработки, следует выделить прочностные свойства вмещающих пород. Наиболее известна классификация пород по крепости, предложенная М. М. Протодяконовым, подразделяющая горные породы на 10 категорий с коэффициентом крепости 1–20. В последующем предложен еще ряд классификаций с уточнением показателей, характеризующих прочностные свойства горных пород. Ю. И. Беляков, например, оценивает степень сопротивления горных пород разрушению по среднему приведенному пределу прочности при разрушении их механическим бурением, а также по сопротивляемости копанью.

Используется также классификация горных пород по относительной трудности разрушения, выдвинутая В. В. Ржевским, в которой наиболее полно отражены физико-механические свойства пород, используемые при обосновании технологий и технических средств обработки месторождений [7]. Показатель трудности разрушения пород, предложенный им, учитывает основные прочностные свойства:

$$P_r = 0.5K_t(\sigma_c + \sigma_s + \sigma_r) + 0.5\gamma,$$

где  $K_t = 0.05 - 1$  — коэффициент трещиноватости горных пород;  $\sigma_c = 34 - 450$ ,  $\sigma_s = 0.01 - 75$ ,  $\sigma_r = 0 - 43$  — пределы прочности горных пород на сжатие, сдвиг и растяжение, МПа;  $\gamma$  — плотность породы, т/м<sup>3</sup>.

Горные породы, подвергаемые разрушению механическим способом, указанной классификацией делятся на классы: I — легко разрушаемые ( $P_r = 1 - 5$ ); II — средней разрушаемости ( $P_r = 5 - 10$ ); III — трудно разрушаемые ( $P_r = 10 - 15$ ); IV — весьма трудно разрушаемые ( $P_r = 15 - 20$ ); V — исключительно трудно разрушаемые ( $P_r = 20 - 25$ ); породы с  $P_r > 25$  относятся к внекатегорийным.

Важное значение при освоении месторождений полезных ископаемых имеет правильный выбор систем их разработки, в основу которых закладывались такие признаки, как местоположение разрезных и капитальных траншей, направление продвижения фронта горных работ, способы и технические средства механизации вскрышных и добычных работ, транспортирование горной массы, отвалообразование и т. д. В качестве существенных признаков систем открытой разработки признаны: способ перемещения вскрышных пород как наиболее трудоемкий процесс открытых горных работ, а также конструктивные параметры рабочей зоны и порядок ведения в ней вскрышных и добычных работ. Наибольшее признание специалистов получили классификации Е. Ф. Шешко, взявшего за основу направление перемещения вскрышных пород в отвалы; Н. В. Мельникова — по способу производства вскрышных работ; В. В. Ржевского — по направлению продвижения фронта горных работ. Рассматриваемые классификации получили определенное развитие путем верификации классификационных признаков и детализации составляющих систем [8–10]. При систематизации обводненных месторождений твердых полезных ископаемых в работе в качестве базовых принимаются системы разработки по классификации Н. В. Мельникова как наиболее соответствующие рассматриваемым условиям.

Результаты анализа классификаций обводненных месторождений твердых полезных ископаемых показали, что их группирование выполняется, как правило, на основе гидрогеологических и инженерно-геологических условий залежей, их генезиса. Классифицирование месторождений по технологическим признакам не проводится или дается обобщенно, без выделения возможных технологических решений по их освоению. Вместе с тем систематизация обводненных месторождений на технологической основе в привязке к гидрогеологическим условиям их залегания позволила бы более объективно оценивать экономические и экологические риски их освоения.

В сложившейся практике открытых горных работ отработку обводненных месторождений в зависимости от сложности их геологических и гидрогеологических условий выполняют с проведением поверхностного водоотведения или с предварительным осушением продуктивной толщи. Опыт осушения обводненных месторождений свидетельствует о том, что трудоемкие и высокочрезвычайно затратные в эксплуатации мероприятия зачастую мало эффективны и не обеспечивают благоприятных условий для ведения горных работ. Так, для осушения поля разреза Березовский-1 проектной мощностью 55 млн т угля в год в Канско-Ачинском буровугольном бассейне сооружена дренажная система, состоящая из вертикального ствола диаметром 6 м и глубиной 120 м, дренажных штреков по угольному пласту общей протяженностью 6600 м в объеме 88 тыс. м<sup>3</sup>, из которых пройдены горизонтальные и наклонные водопонижительные скважины общей длиной более 20 тыс. м. Затраты на строительство системы составили более 15 % от общей сметной стоимости строительства разреза. Потребовались значительные эксплуатационные расходы на поддержание и проходку дополнительных горных выработок. Эксплуатация такой капиталоемкой системы показала, что, несмотря на удовлетворительные результаты осушения угольного пласта, она неэффективна для осушения вскрышной толщи. Это усложнило ведение горных работ и потребовало коренного изменения поточной технологии отработки массивов вскрышных пород [11]. Необходимость изыскания результативных решений по нейтрализации притоков воды в карьеры диктуется не только технологическими и экономическими соображениями, но и возрастающими требованиями по охране природной среды.

Выполненные исследования, а также анализ отечественного и зарубежного опыта эксплуатации обводненных месторождений твердых полезных ископаемых позволили предложить концепцию инновационной технологии отработки обводненных залежей без их осушения на основе ресурсосберегающих технологических схем выемки вмещающих пород и полезных ископаемых, их транспортирования и отвалообразования. Показана возможность применения экономичных и экологически сбалансированных технологий безвзрывной отработки массивов горных пород с использованием средств гидромеханизации, роторных и цепных экскаваторов. На рис. 1 приведен пример отработки обводненного буровугольного месторождения с пластом большой мощности. В предлагаемой технологии все поступающие в карьер подземные воды и атмосферные осадки аккумулируются в технологическом водоеме 6, формируемом в выработанном карьерном пространстве, и используются в замкнутом цикле гидромеханизированной отработки массивов вскрышных пород для обеспечения водой гидромониторно-землесосных комплексов 3 на вскрышных уступах 1. Добыча угля осуществляется двумя уступами роторным 4 и цепным экскаваторами 5 (в подтопленном забое). Транспортировка угля на промышленную площадку разреза проводится ленточными конвейерами, гидросмеси вскрышных пород — трубопроводным транспортом на гидроотвал 7, размещаемый также в выработанном пространстве разреза.

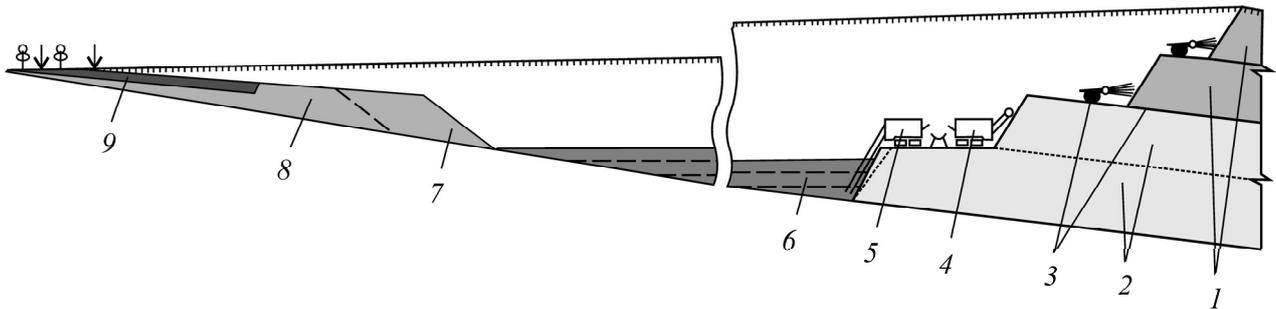


Рис. 1. Технологическая схема обработки обводненного бурогоугольного месторождения: 1, 2 — вскрышные и добычные уступы; 3 — гидромониторно-землесосный комплекс; 4 — роторный экскаватор; 5 — цепной экскаватор; 6 — технологический водоем; 7, 8 — рабочая и восстанавливаемая части гидроотвала; 9 — участок рекультивации

Представленные технологические решения позволят значительно снизить инвестиционные вложения и эксплуатационные расходы на водоотведение и осушение поля разреза, максимально задействовать в производственном цикле карьерные воды и техногенный ресурс выработанных пространств, существенно уменьшить площадь земель, изымаемых для размещения внешних отвалов вскрышных пород и прудов-отстойников, снизить негативное воздействие открытых горных работ на окружающую среду [12].

Вопросы рационального природопользования и обеспечения экологической безопасности признаны в России приоритетными направлениями развития национальной экономики на ближайшие годы [13]. Создаваемые эколого-ориентированные технологии подразумевают производственные системы, обеспечивающие рациональное и экономное использование природных ресурсов, их воспроизводство без ущерба для здоровья человека. Разработка технологий для промышленных предприятий должна быть направлена на создание общественно значимого продукта с оптимизированными параметрами (ресурсными, экономическими, экологическими) при заданных ограничениях (требования защиты окружающей среды при минимуме затрат) [14]. В [15–17] отмечена необходимость адаптации геотехнологий открытой добычи минерального сырья к постоянно возрастающим экологическим требованиям.

В настоящей работе предложена систематизация обводненных месторождений твердых полезных ископаемых, в основу которой положены такие составляющие, как гидрогеологические условия месторождений, степень трудности разработки горных пород, способы нейтрализации притоков подземных вод при освоении месторождений, технологии и технические средства обработки месторождений. Ранжирование обводненных месторождений при их систематизации (рис. 2) выполнено с использованием классификаций М. Н. Альтова и А. М. Быбочкина, В. В. Ржевского, Н. В. Мельникова.

В качестве классификационного признака предлагаемой систематизации принимается способ нейтрализации притоков воды в карьерное поле. Результаты исследований приведены в табл. 4. Технологии группы А подразумевают традиционные решения по водоотведению и осушению карьерных полей (завесы, скважины, открытый и подземный водоотлив и т. д.) в совокупности с известными технологиями обработки продуктивной толщи (транспортная, бестранспортная и их комбинации), группы Б — эколого-ориентированные технологии без осушения залежей с целенаправленным использованием в производственном цикле всех поступающих в горные выработки вод и техногенного ресурса выработанных карьерных пространств. При этом выемка вскрышных пород и полезного ископаемого осуществляется как в надводном, так и в подводном состоянии с применением оборудования, способного работать в указанных условиях.



Рис. 2. Структура составляющих систематизации обводненных месторождений твердых полезных ископаемых

Технологии группы Б1 с исключительно подводной выемкой полезного ископаемого пригодны для обработки россыпных месторождений благородных и редких металлов, а также речных, озерных и морских донных отложений. Применение эколого-ориентированных технологий группы Б2 предусматривается на месторождениях, сложенных вскрышными породами, выемка которых возможна средствами гидромеханизации с использованием в кругообороте карьерных вод (для питания гидромониторно-землесосных комплексов) и выработанного карьерного пространства (для размещения технологического водоема и гидроотвалов вскрышных пород) [18]. К этой группе относятся весьма обводненные месторождения, например Канско-Ачинские буроугольные и Бейское каменноугольное, Бакчарское железорудное, на базе которых возможно строительство мощных конкурентоспособных разрезов и карьеров. Не менее важно, что наряду с обеспечением высоких технико-экономических показателей рассматриваемые технологии позволят существенно снизить негативное воздействие горного производства на природную среду за счет рационального использования природных и техногенных ресурсов обводненных месторождений.

ТАБЛИЦА 4. Систематизация технологий открытой разработки обводненных месторождений твердых полезных ископаемых

Квалификационный признак	Технология отработки карьерных полей	Характеристика технологий	Условия применения	Основное выемочно-погрузочное оборудование
Способ нейтрализации притоков воды в карьерное поле	А. С осушением карьерного поля А1. С поверхностной дренажной системой	Традиционные (транспортная, бестранспортная, комбинированная) с проведением мероприятий по водоотведению и осушению карьерных полей	Месторождения I–IV групп сложности, горные породы 1–2 класса	Механические, гидравлические, роторные, цепные экскаваторы, драглайны, гидромониторно-землесосные комплексы
	А2. С подземной и комбинированной дренажными системами		Месторождения III–IV групп сложности, породы 1–5 класса (внекатегорийные)	Механические и гидравлические экскаваторы, драглайны, фронтальные погрузчики
	Б. Без осушения карьерного поля Б1. Подводная добыча полезного ископаемого без ведения вскрышных работ	Эколого-ориентированные на основе рационального использования в производственном процессе карьерных вод и выработанных карьерных пространств	Россыпные месторождения, аллювиальные залежи (и донные отложения)	Драга, земснаряд, драглайн, грейфер
	Б2. Подводная выемка вскрышных пород и полезного ископаемого с затоплением рабочей зоны карьера		Коренные месторождения минерального сырья с породами 1–2 класса	Экскаваторы: цепной, драглайн, механический (обратная лопата), земснаряд
	Б3. Надводная выемка вскрышных пород и подводная полезного ископаемого с подтоплением нижнего рабочего горизонта карьера		Горизонтальные и пологопадающие пластовые месторождения I–IV групп сложности, породы 1–2 класса	Гидромониторно-землесосные комплексы, роторные, цепные, механические экскаваторы

## ВЫВОДЫ

Наиболее значимая проблема при освоении обводненных месторождений твердых полезных ископаемых — нейтрализация вредного влияния притоков поверхностных и подземных вод, поступающих в горные выработки. Недостаточно эффективное решение ее известными способами водоотведения и осушения карьерных полей предопределило необходимость поиска инновационных ресурсосберегающих и экологически сбалансированных геотехнологий. Для месторождений, сложенных сравнительно слабыми горными породами, предложена эколого-ориентированная технология отработки без осушения продуктивной толщи с рациональным использованием в производственном процессе карьерных вод и выработанных пространств, обеспечивающая высокие технико-экономические показатели открытых горных работ при минимальном негативном воздействии на природную среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственный доклад** “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 г.”. — М., 2020.
2. **Гузев А. А., Кисляков В. Е., Нафиков Р. З.** Обоснование технологии экскаваторной разработки обводненных месторождений. — Красноярск: СФУ, 2017. — 163 с.
3. **Леонова А. В.** Гидрогеология и инженерная геология. — Томск: ТПУ, 2013. — 144 с.
4. **Мироненко В. А., Мольский Е. В., Румынин В. Г.** Горнопромышленная гидрогеология. — М.: Недра, 1989. — 287 с.
5. **Альтов М. Н., Быбочкин А. М.** Рудничная геология. — М.: Недра, 1973. — 430 с.
6. **Абрамов С. К., Скиргелло О. Б.** Осушение шахтных и карьерных полей. Способы, системы и расчеты осушения шахтных и карьерных полей. — М.: Недра, 1968. — 254 с.
7. **Ржевский В. В.** Открытые горные работы. — М.: Либроком, 2010. — 552 с.
8. **Арсентьев А. И.** Разработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом. — СПб.: СПбГИ им. Г. В. Плеханова, 2009. — 136 с.
9. **Хохряков В. С.** Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1974. — 264 с.
10. **Ракишев Б. Р.** Классификация технологий открытой разработки полезных ископаемых // ГИАБ. — 2020. — № 3. — С. 5–15.
11. **Резник А. В.** Обоснование технологии открытой разработки обводненного пологопадающего бурого угольного месторождения без осушения продуктивной толщи: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск: ИГД СО РАН, 2019. — 24 с.
12. **Резник А. В., Ческидов В. И.** Технология открытой разработки обводненных бурого угольных месторождений Канско-Ачинского бассейна // ФТПРПИ. — 2019. — № 1. — С. 106–115.
13. **Указ Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899.** Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации.
14. **Киселева С. П., Угренинова Н. Н., Шалина А. Е.** Экологические аспекты обеспечения технологической безопасности и технологического развития в РФ // Мир науки. Социология, философия, культурология. — 2015. — Вып. 4. — С. 1–12.
15. **Бобров С. А., Кисляков В. Е.** Эколого-технологическая классификация систем открытой разработки месторождений полезных ископаемых // ГИАБ. — 2007. — № 8. — С. 5–13.
16. **Касиева К. Б., Ишканов Б. Т.** Воздействие на окружающую среду открытых горных работ // Инновационная наука. — 2017. — № 11. — С. 33–37.
17. **Сакенова Ж. Р., Досымбек Д. С., Калманбаева А. Д.** Основные аспекты обеспечения экологической безопасности на горнодобывающих предприятиях с открытым способом добычи полезных ископаемых // Евразийский союз ученых: сб. тр. — 2016. — № 1. — С. 106–108.
18. **Ческидов В. И., Резник А. В.** Особенности формирования гидроотвала вскрышных пород при разработке обводненного бурого угольного месторождения // ФТПРПИ. — 2019. — № 2. — С. 105–111.

*Поступила в редакцию 21/IV 2021  
После доработки 29/IV 2021  
Принята к публикации 24/V 2021*