

УДК 504.5

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2016

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНСЕРВАЦИИ ТЕРРИКОНИКОВ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ИХ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И СОХРАНЕНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА

Я.И. Вайсман, М.Ф. Гайдай

Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR CONSERVATION OF SPOIL HEAPS IN ORDER TO REDUCE ITS NEGATIVE IMPACT ON THE ENVIRONMENT AND PRESERVE RESOURCE POTENTIAL

Ia.I. Vaisman, M.F. Gaidai

Perm National Research Polytechnic University (29 Komsomolski av., Perm, 614990, Russian Federation)

Получена / Received: 24.02.2016. Принята / Accepted: 20.04.2016. Опубликовано / Published: 30.06.2016

Ключевые слова:

терриконники, экологическая техногенная нагрузка, эрозия, выбросы в атмосферу, геоэкологическая безопасность, рекультивация, техногенные месторождения, ресурсный потенциал, консервация, технические решения, геосинтетические материалы, бентонитовые маты, отложенный спрос, строительные материалы, строительная керамика, энергоэффективные добавки.

Добыча угля сопровождается образованием крупнотоннажных отходов в виде терриконников из некондиционной руды. Специфический минералогический и химический состав пород, слагающих терриконники, в результате воздействия агрессивных природных факторов приводит к формированию экологической техногенной нагрузки на окружающую среду в виде пылевых и газовых выбросов, образования загрязненных вод, загрязнения и засорения прилегающих территорий. При этом исключаются из хозяйственного использования земли, занятые под размещение терриконников, а их ресурсный потенциал теряется в результате ветровой и водной эрозии, негативных физико-химических и биохимических процессов, преобразований слагающих терриконники горных пород, приводящих к снижению их ценности как вторичных ресурсов. Это определяет актуальность разработки мероприятий по снижению экологической техногенной нагрузки, формируемой терриконниками, до приемлемого уровня, и сохранению их ресурсного потенциала как техногенных месторождений. Одним из возможных путей решения проблемы является заполнение подземного выработанного пространства шахт закладочными материалами с применением некондиционной руды, но использование данной технологии накладывает обременения на экономическую составляющую добычи угля, а к новым объектам угледобычи, у которых отсутствуют свободные выработанные пространства, а также к накопленным за предшествующие долгие годы работы угледобывающих предприятий отвалам она не применима. Широко распространенным способом снижения негативного влияния на окружающую среду уже сформированных терриконников является их рекультивация. Однако рекультивация отвалов из отходов угледобычи, сопровождаемая внесением антипирогенов, мелиорантов и минеральных удобрений в отвальные породы, в значительной степени накладывает ограничения на их дальнейшее использование как техногенных месторождений. Антипирогены, мелиоранты и минеральные удобрения, вступая в физико-химические реакции с отходами угледобычи, делают их не пригодными для дальнейшего применения в качестве вторичных ресурсов, в частности, при производстве большинства строительных материалов. Это определяет перспективность консервации терриконников, которая позволяет не только сократить их негативное влияние на окружающую среду, но и сохранить заложенный в них ресурсный потенциал. В работе предложены метод, технология и технические решения по консервации терриконников, обеспечивающие их геоэкологическую безопасность как источников загрязнения окружающей среды и возможность использования их ресурсного потенциала для производства целевых продуктов.

Key words:

spoil heaps, environmental man-caused load, erosion, atmospheric emissions, geoecological safety, reclamation, artificial deposits, resource potential, conservation, technical solutions, geosynthetics, bentonitic mats, deferred demand, construction materials, structural ceramics, energy efficient supplements.

Coal mining is accompanied by bulk waste formation in form of spoil heaps from low quality ore. As a result of aggressive natural factors impact specific mineral and chemical composition of rocks, which forms spoil heaps, leads to the environmental man-caused load in form of dust and gas emission, water pollution and adjacent area littering. Thus, lands, where spoil heaps are disposed, are excluded from economic use, and their resource potential gets lost because of wind and water erosion, negative physical, chemical and biochemical processes, and transformation of rocks, which forms spoil heaps, that causes the reduction of its value as secondary resources. It defines the urgency of developing methods aimed at the lowering of ecological load, caused by spoil heaps, to acceptable level and at the preservation of its resource potential as artificial deposits. One of the possible solutions is to fill underground worked-out mine area with stowage materials using low quality ore. But this technology pushes up the cost of coal production and is not applicable to new coal mining objects, which has lack of free worked-out area as well as to waste dumps, accumulated during long years of coal production. One of the most common ways of reducing the negative impact on the environment of already formed spoil heaps is its reclamation. However, reclamation of coal mining waste, which is followed by application of antipyrrogens, ameliorants and mineral fertilizers to waste dumps, considerably limits their further utilization as artificial deposits. Antipyrrogens, ameliorants and mineral fertilizers, when entering into physical and chemical reactions with coal mining waste, make this waste unsuitable for application as a secondary resource, particularly during the production of many construction materials. It defines the prospectivity of spoil heaps conservation, which allows not only to reduce the negative impact of spoil heaps on the environment but also to preserve their resource potential. This study offers a method, a technology and technical solutions for spoil heaps conservation that ensure their geoecological safety as sources of environmental pollution and allow to use its resource potential for production of target products.

Вайсман Яков Посифович – доктор медицинских наук, профессор кафедры охраны окружающей среды (тел.: +007 342 239 14 82, e-mail: eco@pstu.ru).

Гайдай Максим Федорович – аспирант кафедры охраны окружающей среды (моб. тел.: +007 919 71 999 44, e-mail: gaidaimaxim@yandex.ru). Контактное лицо для переписки.

Iakov I. Vaisman (Author ID in Scopus: 9270132600) – Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department of Environmental Protection (tel.: +007 342 239 14 82, e-mail: eco@pstu.ru).

Maxim F. Gaidai – postgraduate student at the Department of Environmental Protection (mob. tel.: +007 919 71 999 44, e-mail: gaidaimaxim@yandex.ru). The contact person for correspondence.

Введение

Несмотря на динамичное развитие угледобывающего кластера, разработку новых перспективных технологий и способов добычи угля [1–3], актуальной остается проблема образования террикоников из некондиционной руды и вскрышных пород. При разработке месторождений неизбежно, в большей или меньшей степени в зависимости от применяемой технологии добычи, некондиционная руда складывается в терриконики. В результате этого земли, занятые террикониками, на длительное время (вплоть до их ликвидации) исключаются из хозяйственного оборота.

Некондиционная руда угледобывающих производств, складываемая в террикониках, как правило, представлена следующими основными группами минералов: кварцем, полевыми шпатами, иллитом, каолинитом, а также корундом, магнетитом, гематитом. Основными химическими элементами, содержащимися в террикониках, являются оксиды кремния, алюминия и железа, но также присутствуют и оксиды кальция, магния, марганца, серы, натрия, калия, цинка, титана, молибдена, свинца, ванадия, никеля и других элементов [4].

Такой состав пород террикоников и их физико-химические свойства при контакте с агрессивными природными факторами обуславливают неизбежность их негативного влияния на окружающую среду [5].

Негативные экологические эффекты террикоников

Терриконики в значительной мере подвержены водной и ветровой эрозии, являются источниками пылевых и газовых выбросов. Под воздействием эоловых процессов происходит выдувание и развеивание складированной в отвалах мелкой фракции породы с дальнейшим попаданием в поверхностные слои почвы на прилегающей территории, что в свою очередь провоцирует негативные физико-механические реакции. Атмосферные осадки приводят к вымыванию из террикоников на прилегающие территории многих тонн породы, содержащей опасные компо-

ненты. Временные водные потоки, образующиеся на склонах террикоников, попадают на прилегающую к ним территорию, при этом происходит унос несвязанных частиц почвы, ее засорение и загрязнение, а также разрушение плодородного слоя и раскрытие нижележащих слоев. Терриконики являются источниками загрязнения атмосферного воздуха угледобывающих районов. Часть террикоников подвержена процессам горения, что приводит к выбросам в атмосферу наряду с водными парами, образующимися при испарении и возгонке попадающих в зону горения атмосферных осадков, таких опасных компонентов, как серная кислота (сульфат-ион), уголекислота, двуокись азота (нитрат-ион) [6–8].

Известные способы снижения негативного влияния террикоников на окружающую среду

Формирование экологической техногенной нагрузки от террикоников определяет актуальность поиска путей снижения их негативного влияния на окружающую среду с целью предотвращения ее деградации. Одним из возможных путей решения проблемы является заполнение подземного выработанного пространства шахт закладочными материалами с применением некондиционной руды [9, 10]. Следует отметить, что закладка выработанных пространств в шахтах отходами угледобычи, несомненно, позволяет в значительной степени снизить образование террикоников, однако накладывает обременения на экономическую составляющую добычи угля. Даже при разработке месторождений руд цветных металлов и редкоземельных элементов, для которых обеспечение максимально возможного извлечения полезных ископаемых, в том числе и за счет охранных целиков, путем закладки выработанных пространств более актуально, зачастую подобные мероприятия оказываются весьма затратными и сказываются на себестоимости добываемых полезных ископаемых. Закладочный комплекс в составе горно-добывающего предприятия включает технологические процессы, нарушение любого из которых может привести к сбою всего процесса добычи полезного ископаемого [11].

В качестве одного из способов снижения негативных экологических эффектов от терриконигов следует выделить их рекультивацию, которая в последнее время получила широкое распространение [12]. Наиболее эффективным в геоэкологическом отношении из известных способов рекультивации является санитарно-гигиенический, который состоит из двух этапов: технического и биологического. В целом работы по рекультивации являются высокочрезвычайными с экономической точки зрения, а в случае, если они выполнены некачественно или без соблюдения требований технических регламентов, возможно возобновление негативного влияния на окружающую среду вследствие вторичных эмиссионных процессов.

Рекультивация терриконигов не предотвращает в полной мере их контакт с атмосферными водами, а антипирогены, мелиоранты и минеральные удобрения, вводимые в тело отвала при его рекультивации, вступают в физико-химические реакции с отходами угледобычи, делают их непригодными для дальнейшего применения, в частности при производстве большинства строительных материалов. Именно поэтому с течением времени происходит значительная потеря ресурсного потенциала терриконигов, что снижает их ценность как техногенных месторождений. Складированные в террикониках отходы угледобычи в большинстве случаев экономически доступны для использования в различных отраслях промышленности в качестве вторичных материалов, поскольку являются частично дезинтегрированными и размещаются на поверхности [13]. Особенно важным является тот факт, что терриконики располагаются на промышленно развитых территориях, имеющих как собственную транспортную сеть и другие виды инженерной инфраструктуры, так и потенциальных потребителей вторичных материалов для получения широкого спектра целевых продуктов.

Отходы угледобычи, в силу своего минерального и химического составов, могут заменить первичное сырье в крупнотоннажных производствах, к примеру, при производстве строительных материалов. С применением

терриконигов угольных месторождений могут быть получены: щебень, песок из отходов дробления, тяжелые и легкие бетоны, активированные безклинкерные тонкомолотые гидравлические вяжущие, зернистые теплоизоляционные материалы [14]. Известны работы по применению отходов угледобычи в петругической (камнелитейной) промышленности, при производстве аглопорита, в качестве источника сырья для металлургии (в частности для производства алюминия).

На сегодняшний день достигнуты определенные успехи в исследовании возможности производства строительной керамики с применением отходов угледобычи [15]. Установлено, что негорелые отходы угледобычи являются высокоэффективными выгорающими добавками, а горелые терриконики – отошителями и интенсификаторами спекания в составе сырьевой шихты для производства строительной керамики. При применении терриконигов в производстве строительной керамики могут быть получены высококачественные штучные стеновые материалы с высокой добавочной стоимостью, что делает подобные производства привлекательными с инвестиционной точки зрения.

Наряду с этим следует отметить, что в целом природоохранная деятельность в области управления обращения с отходами угледобычи направлена на минимизацию размещения в окружающей среде не утилизируемых остатков отходов, что обеспечивает снижение формируемой при этом экологической техногенной нагрузки и соблюдение действующих экологических норм и лимитов на размещение образовавшихся отходов. Сокращение доли образующихся отходов на единицу продукции и их переработка являются перспективным путем развития угледобывающей промышленности. Возможно, именно ужесточение нормативно-правовой базы на стыке природоохранной и промышленной деятельности, а также ее гармонизация с европейскими нормами позволит в ближайшее время многократно повысить объемы перерабатываемых терриконигов.

Однако в настоящее время, ввиду своей легкодоступности, первичные сырьевые материалы зачастую оказываются объективно

дешевле вторичных. Экономическая составляющая добычи сырьевых материалов традиционно является определяющей при принятии решения о разработке природных или техногенных месторождений. При этом в последние годы в связи с исчерпанием легкодоступного природного сырья наблюдается тенденция повышения интереса к техногенным месторождениям.

Консервация террикоников

Все это определяет актуальность консервации террикоников, которая позволяет не только сократить негативное влияние террикоников на окружающую среду, но и сохранить заложенные в террикониках ресурсы последующей переработки. В дальнейшем, с преобразованием отложенного спроса в реальный, разработка террикоников в целях получения из них вторичных материалов позволила бы окончательно решить данную проблему. Количество террикоников, расположенных в настоящее время в угледобывающих районах, велико, а заложенный в них потенциальный ресурс является недооцененным. С учетом роста потребления минеральных сырьевых ресурсов в различных отраслях народного хозяйства страны, в особенности в строительстве, при постоянном увеличении стоимости добычи первичных ресурсов терриконики имеют перспективы быть высоко востребованными в среднесрочной перспективе в качестве экономически доступных конкурентоспособных вторичных материалов.

Основным отличием консервации террикоников от рекультивации является сохранение их как техногенных месторождений. При этом ресурсный потенциал террикоников остается сохраненным за счет предотвращения их контакта с агрессивными природными факторами, которые приводят не только к физическим потерям массы пород террикоников в результате ветровой и водной эрозии, но и к снижению важных потребительских свойств их компонентов в результате трансформации под воздействием негативных физико-химических и биохимических процессов, инициированных проникновением воды, кислорода воздуха и микроорганизмов в тело террикоников. Проведенные нами иссле-

дования позволили предложить метод, технологию и комплекс технических решений по консервации террикоников. Технология консервации террикоников в общем виде представляет ряд последовательно проводимых технических мероприятий по подготовке и созданию конструкции терриконика, обеспечивающей сохранение ресурсного потенциала и приемлемый уровень его геоэкологической безопасности. В общем виде конструкция терриконика, на котором проведены работы по его консервации, представлена на рис. 1.

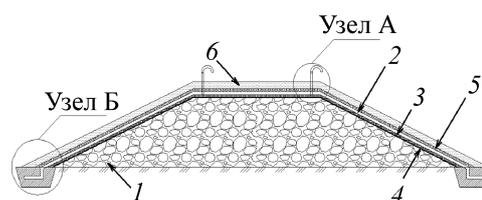


Рис. 1. Конструкция консервации терриконика: 1 – тело терриконика; 2 – гидроизоляционный слой; 3 – газодренажный слой; 4 – разделительный геотекстильный материал; 5 – водно-дренажный слой; 6 – защитный слой грунта

Работы по консервации начинаются с выполнения поверхности и откосов тела терриконика 1 с уборкой мусора и захоронением негабаритов. Затем создаются системы: гидроизоляции для исключения проникновения в тело терриконика атмосферных осадков 2, газового дренажа для пассивной дегазации образующихся в теле терриконика газов 3 с разделительным слоем из геотекстильного материала 4, водного дренажа для отвода атмосферных осадков, попадающих на поверхность гидроизоляционного материала 5, защитного слоя грунта над гидроизоляционным слоем 6. Для повышения эффективности работы дренажных систем создается разуклонка (~3 %) на поверхности терриконика. Спланированная поверхность терриконика перекрывается разделительным геотекстильным материалом. Над ней проводится монтаж системы газового дренажа для пассивной дегазации тела терриконика. Учитывая особую важность обеспечения работоспособности системы пассивной дегазации, газовый дренаж выполняется из дренажного щебня или гальки толщиной 0,3 метра с его покрытием иглопро-

бивными неткаными геотекстильными материалами, обладающими высокой пропускной способностью и долговечностью. Подобные геотекстильные материалы способны защитить чувствительные к повреждениям материалы с пониженной влагопроницаемостью (гидроизоляционный слой), которые укладываются поверх газодренажного слоя, от механических воздействий дренажного щебня. Поверх гидроизоляционного слоя укладывается дренажный слой, необходимый для отвода атмосферных осадков. Гидроизоляционный экран необходимо защитить сверху слоем из грунта, толщина которого должна быть не менее 1 метра с тем, чтобы корни растений не достигали гидроизоляционного материала и не разрушали его.

В процессе хранения отходов угледобычи возможно образование газов в теле терриконики, особенно при активизации биохимических процессов и горения. Горные породы, попавшие на поверхности в иную, нежели чем в недрах, термодинамическую обстановку, становятся в водно-воздушных условиях неравновесными и испытывают физико-химические и биохимические преобразования. Рыхлый углесодержащий материал отходов угледобычи под воздействием атмосферной влаги и кислорода воздуха интенсивно окисляется вплоть до самовозгорания. Общей причиной самовозгорания углей и иных горючих пород почвы, кровли и межугольных прослоев является способность адсорбировать кислород, вступающий в химическое взаимодействие с потенциально горючим веществом. Такой процесс сопровождается выделением тепла и повышением температуры, что еще более усиливает процессы окисления [16].

Склонностью к самонагреванию и самовозгоранию в водно-воздушной среде обладают горные породы углисто-глинистого состава, имеющие повышенные пористость и содержание серы и железа (в виде пирита и марказита) [17, 18]. Разложение пирита и других сульфидов происходит не только в результате химического взаимодействия этих минералов с агентами выветривания, но и при широком участии постоянно присутствующих в поверхностной зоне сво-

бодного водообмена тионовых бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* [17]. Вследствие подкисления среды до $\text{pH} \leq 3,5$ и образования серы при химическом окислении пирита создаются благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, которые вызывают деструкцию сульфидов и окисляют сульфидную серу до сульфат-ионов. При температуре, близкой к кипению воды, микроорганизмы прекращают свою жизнедеятельность, и с этого момента в горных породах протекают процессы, обусловленные химическими реакциями.

Для исключения накопления образующихся при этих процессах газов до пожаро- и взрывоопасных количеств необходимо устраивать системы пассивной дегазации для удаления газа в атмосферу. Системы активной дегазации для терриконики неактуальны ввиду незначительных объемов образования газов. С учетом малых объемов образования газов достаточным является их отвод посредством устройства вытяжных труб, расстояние между которыми определяется расчетным методом для каждого отвала индивидуально. По нашим предварительным оценкам, это расстояние в большинстве случаев более 50 метров. Важным элементом вытяжных труб является обратный клапан, исключающий доступ наружного воздуха в тело терриконики, но позволяющий выходящим газам беспрепятственно попадать в атмосферу. Устройство вытяжной трубы (узел А) показано на рис. 2.

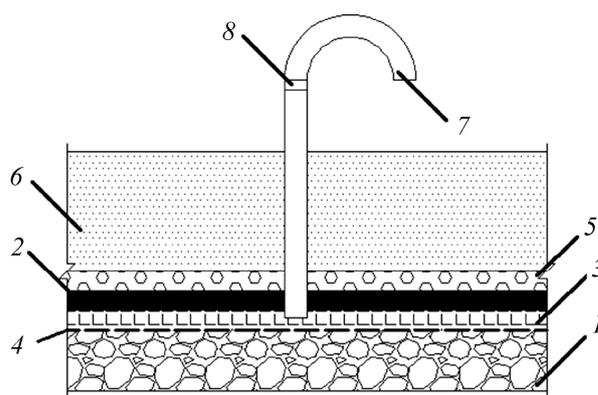


Рис. 2. Узел А устройства вытяжной трубы; 1 – тело терриконики; 2 – гидроизоляционный слой; 3 – газодренажный слой; 4 – разделительный геотекстильный материал; 5 – водно-дренажный слой; 6 – защитный слой грунта; 7 – вытяжная труба; 8 – обратный клапан

Гидроизоляционный экран для терриконигов может быть выполнен так, как принято в практике при гидроизоляции подобных объектов (полигонов захоронения твердых коммунальных отходов, отходов производства, накопителей, отходов обогащения полезных ископаемых и иных), из отдельных полотнищ, соединённых между собой методами склеивания, сварки или перехлеста. В местах примыкания гидроизоляционных материалов к откосам терриконика (узел Б, рис. 3) следует предусматривать их увеличенный перехлест, а в случае прогнозирования деформаций, подвижек или осадок терриконика – устройство компенсирующей складки, которая позволяет избежать порывов. Сопряжение гидроизоляционного слоя с грунтовым основанием надлежит осуществлять с помощью штрабы или зуба, заполненного пластичным материалом (глиной, суглинком). Подобная штраба или зуб с заделанным в нее гидроизоляционным материалом исключает возможность подсоса воздуха в тело терриконика, что минимизирует возможность самовозгорания.

По наружному периметру терриконика в его основании следует проложить кольцевой дренаж из перфорированных труб, который позволяет отвести атмосферные воды от тела терриконика, прошедшего процедуру консервации. Для обеспечения долговременной работоспособности дренажной системы вокруг дренажной призмы целесообразно предусмотреть фильтрующий геотекстиль.

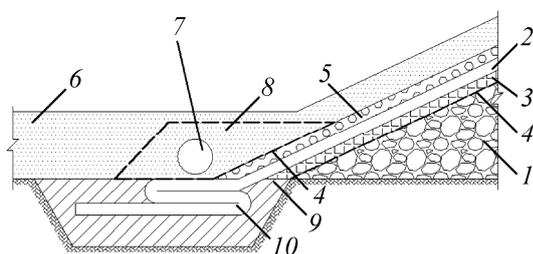


Рис. 3. Узел Б примыкания гидроизоляционного материала к откосам терриконика: 1 – тело терриконика; 2 – гидроизоляционный слой; 3 – газодренажный слой; 4 – разделительный геотекстильный материал; 5 – водно-дренажный слой; 6 – защитный слой грунта; 7 – дренажная труба; 8 – дренажная призма; 9 – пластичный грунт в штрабе; 10 – компенсирующая складка

К выбору материалов, обеспечивающих долговременную работоспособность конструкции консервации терриконика, необходимо подходить комплексно, с учетом их экономической доступности, долговечности, работы в условиях контакта с агрессивными природными и антропогенными факторами, технологичности устройства в конструкциях консервации. В качестве противодиффузионных материалов широкое применение в различных сооружениях получили пленочные экраны из полиэтиленовой пленки низкой плотности по ГОСТ 10354-82 толщиной 0,2–0,3 мм. Данный материал обладает хорошими показателями по водонепроницаемости и стойкости к наиболее распространенным химическим реагентам. Также можно отметить его экономическую доступность.

Экраны из полиэтиленовой пленки обладают определенной деформативной способностью, что, с одной стороны, делает их удобными в использовании, но, с другой стороны, обуславливает возможность сравнительно легкой повреждаемости строительными механизмами при устройстве защитного слоя грунта. Вместе с тем пленки подвержены старению и значительному изменению свойств при перепадах температуры, воздействии циклов замораживания и оттаивания, ультрафиолетовом облучении. Зачастую встречается некачественное соединение отдельных полотнищ пленки при сварке, нарушение структуры, а в ряде случаев и целостности пленки при вдавливании относительно крупных фракций грунта (более 5 мм).

При наличии в непосредственной близости от терриконигов месторождений природных глин с подходящими свойствами возможно устройство противодиффузионных экранов из данных глин. Однако для достижения требуемого коэффициента инфильтрации слой глины должен быть значительной толщины, а его устройство трудоемко и сопряжено с необходимостью привлечения специализированной техники и персонала.

В связи с этим наиболее перспективным при консервации терриконигов представляется использование таких современных противодиффузионных рулонных материалов, как

бентонитовые маты с геотекстилем и наполнителем из натриевого или кальциевого бентонита, которые более эффективны. Мировой опыт применения данных материалов показал, что они обеспечивают высокую надежность и практически полную герметичность противofильтрационной конструкции. Конструктивно бентоматы, как правило, представляют из себя иглопробивной каркас из тканых и нетканых полипропиленовых полотен, между которыми помещены гранулы натриевого или кальциевого бентонита. Полотна соединены между собой поперечным иглопробивным способом, что обеспечивает прочность и эластичность конструкции, а также равномерное распределение гранул бентонита внутри каркаса и их фиксацию. Структура бентомата представлена на рис. 4 [19].

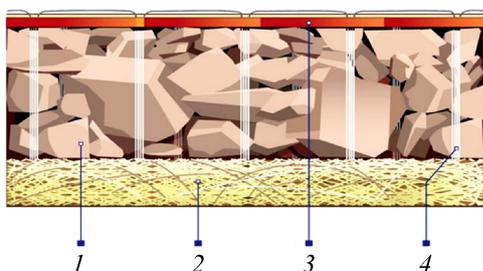


Рис. 4. Структура бентомата: 1 – гранулы бентонита; 2 – нетканое геотекстильное полотно; 3 – тканое геотекстильное полотно; 4 – иглопробивные волокна

Бентонитовые маты производят такие известные фирмы, как «NAUE» (Германия), «HUESKER» (Германия), «GSE» (Германия), «Техстройтекс» (Беларусь), «СЕТСО» (Польша), «Сагри» (Швейцария), «Изобент» (Беларусь), «БентИзол» (Россия), «Nilex» (Канада) и др. Бентонитовые маты производятся в больших объемах, конкурентоспособны по экономическим показателям с природными глинами и достаточно широко стали применяться в последнее десятилетие при устройстве противofильтрационных конструкций для широкого класса сооружений, таких как полигоны захоронения отходов, накопители, шламохранилища и др. Достаточно полно проработаны методические вопросы их использования для решения подобного класса задач в части создания противofильтрационных экранов. Особенно

большой вклад в разработку методических указаний по устройству сооружений с укладкой бентонитовых матов внесла фирма «NAUE». Данная компания является одним из мировых лидеров в производстве геосинтетических материалов и имеет опыт работы более 30 лет.

В конструкции бентонитовых матов прочный и долговечный геотекстиль надежно удерживает слой бентонита, обеспечивая тем самым долгосрочную эксплуатацию материала. Водонепроницаемость подобного рулонного материала обусловлена набуханием в замкнутом пространстве бентонита при гидратации. Помимо этого, бентонитовые маты обладают способностью «самозалечиваться» при механических повреждениях за счет увеличения в объеме бентонита до 12 раз при контакте с водой, что особенно важно, поскольку механические повреждения возможны при перевозке и монтаже материала. Установлено, что бентонитовые маты с натриевым наполнителем являются наиболее высокотехнологичными из данной группы гидроизоляционных материалов, поскольку обладают наилучшим значением коэффициента фильтрации [19].

Применение геотекстильных материалов для устройства как газовых дренажных систем, так и систем по отводу ливневых вод обусловлено их высокими прочностными характеристиками и водопроницаемостью, а также долговечностью конструкций, построенных с их применением. При всем этом геотекстильные материалы удобны в хранении, транспортировке и монтаже. Толщина дренажной системы, устроенной при помощи геотекстильных материалов, в разы меньше, чем аналогичной по пропускной способности дренажной системы из природных материалов типа дренажного щебня или гальки.

Заключение

Сравнительный анализ технико-экономической и экологической эффективности общепринятой стратегии обращения с террикониками путем рекультивации с предлагаемой стратегией их консервации позволяет сделать вывод о том, что обе эти стратегии обеспечивают приемлемый уровень геологической безопасности, но при этом рекультивация приводит к существенному

снижению недооцененного в настоящее время ресурсного потенциала террикоников, в то время как при консервации обеспечивается его долговременная сохранность в период отложенного спроса на вторичные ресурсы. Применение предложенных метода, технологии и комплекса технических решений по консервации террикоников позволяет снизить техногенную экологическую нагрузку и обеспечить долговременное сохранение ресурсного потенциала. Консервация террикоников технически возможна, экономически доступна, экологически безопасна и может быть реализована в фактических условиях действующих строительно-монтажных организаций без применения узкоспециализированных технических средств и персонала.

Консервация террикоников способна в значительной мере предотвратить процессы видоизменения складированной в них породы, которые происходят под влиянием атмосферных осадков, провоцирующих протекание физико-механических реакций. Сохранение заложенного в террикониках ресурса вместе с минимизацией контакта с окружающей средой позволит достичь синергетического эффекта в решении проблемы освоения ресурсного потенциала накопленных крупнотоннажных отходов угледобычи.

Анализ современной рыночной конъюнктуры и спроса на первичные и вторичные минеральные ресурсы, а также прогнозов ее изменения в недалеком будущем позволяет сделать вывод о том, что отложенный спрос на ресурсный потенциал

террикоников при постоянном росте цен на первичные минеральные ресурсы и усложнении условий их технико-экономической доступности будет со временем трансформироваться в реальный, а терриконики как техногенные месторождения в среднесрочной перспективе будут востребованы. Превращению отложенного спроса в реальный способствует не только истощение легкодоступных первичных сырьевых ресурсов, но и постоянное ужесточение природоохранной законодательной базы обращения с отходами производства.

Проведенными нами исследованиями установлено, что наряду с известными направлениями использования террикоников, такими как производство песка и щебня, заполнителей для бетонов, каменного литья, зернистых теплоизоляционных материалов, технических грунтов для рекультивации нарушенных земель и в других целях, на их основе возможно получение строительной керамики путем использования специфического минералогического и химического составов террикоников. Разработаны технические решения по использованию материалов террикоников в качестве выгорающей и отощающей добавок при производстве строительных керамических изделий, конкурентоспособных по сравнению с аналогами, полученными из первичных материалов и характеризующимися высокой добавленной стоимостью, что является важным экономическим стимулом освоения террикоников как ценных техногенных месторождений.

Список литературы

1. Шаклеин С.В., Писаренко М.В. Нетрадиционные технологии добычи угля – основа интенсивного освоения минерально-сырьевой базы Кузбасса // Горная промышленность. – 2010. – № 4 (92). – С. 22–25.

2. Плакиткина Л.С. Систематизация основных направлений инновационных решений в угольной промышленности России. Основные инновационные решения в области добычи угля // Горная промышленность. – 2015. – № 3 (121). – С. 16–22.

3. Гаврилов В.И. Результаты приемочных испытаний способа интенсификации дегазации

угольных пластов гидродинамическим воздействием в нижней части молотковой лавы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 14. – С. 52–61. DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.6.

4. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. – М.: Стройиздат, 1966. – 297 с.

5. Гайдай М.Ф., Вайсман Я.И. Оценка негативного воздействия террикоников на экологическую ситуацию в угледобывающих районах и пути его снижения // Экологические системы и приборы. – 2015. – Вып. 12. – С. 11–21.

6. Greenhouse gas emissions from low-temperature oxidation and spontaneous combustion at open-cut coal mines in Australia / J. Carras, S. Day, A. Saghafi, D. Williams // *International Journal of Coal Geology*. – 2009. – № 78. – P. 161–168. DOI: 10.1007/s10661-009-1021-7.

7. Finkelman R. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks // *International Journal of Coal Geology*. – 2004. – № 59. – P. 19–24. DOI: 10.1016/j.coal.2003.11.002.

8. Misz-Kennan M., Fabianska M. Thermal transformation of organic matter in coal waste from Rymer Cones (Upper Silesian Coal Basin, Poland) // *International Journal of Coal Geology*. – 2010. – № 81. – P. 343–358. DOI: 10.1016/j.coal.2009.08.009.

9. Бронников Д.М., Цыгалов М.Н. Закладочные работы в шахтах: справочник. – М.: Недра, 1989. – 400 с.

10. Хайрутдинов М.М., Шаймярдянов И.К. Подземная геотехнология с закладкой выработанного пространства: недостатки, возможности совершенствования // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2009. – № 1. – С. 240–250.

11. Howrard F., Karim M. The selection of backfill materials for Barapukuria underground coal mine, Dinajpur, Bangladesh: insight from the assessments of engineering properties of some selective materials // *Environmental Earth Sciences*. – 2015. – Vol. 73, is. 10. – P. 6153–6156. DOI: 10.1007/s12665-014-3841-1.

12. Tichanek F., Tichanek R. Contribution to the solution of thermally active reclamation

of coal waste heaps // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Proceedings. – Alben, 2014. – P. 777–791. DOI: 10.5593/SGEM2014/B13/S3.100.

13. Макаров А.Б. Техногенные месторождения минерального сырья // *Соросовский образовательный журнал*. – 2000. – № 8. – С. 76–80.

14. Буравчук Н.И. Перспективные направления утилизации отходов добычи и сжигания углей // *Материалы 5-й международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов»*. – Харьков, 2008. – С. 120–123.

15. Баталин Б.С., Белозерова Т.А., Гайдай М.Ф. Строительная керамика из терриконилов Кизеловского угольного бассейна // *Стекло и керамика*. – 2014. – № 3. – С. 8–10.

16. Панов Б.С., Проскурня Ю.А. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса // *Геология угольных месторождений*. – Екатеринбург, 2002. – С. 274–281.

17. Зборщик М.П., Осокин В.В. Предотвращение самовозгорания горных пород. – Киев: Техника, 1990. – 176 с.

18. Зборщик М.П., Осокин В.В., Панов Б.С. Минералогические особенности осадочных горных пород, склонных к самовозгоранию // *Разработка месторождений полезных ископаемых*. – 1989. – № 83. – С. 92–98.

19. Баев О.А. Противофильтрационные покрытия с применением бентонитовых матов для накопителей жидких отходов // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. – 2013. – № 3 (11). – С. 115–124.

References

1. Shaklein S.V., Pisarenko M.V. Netraditsionnye tekhnologii dobychi uglia – osnova intensivnogo osvoeniia mineral'no-syr'evoi bazy Kuzbassa [Unconventional technologies of coal mining are the ground of the intensive development of the mineral resource base in the Kuzbass coal basin]. *Mining Industry Journal*, 2010, no.4 (92), pp.22-25.

2. Plakitkina L.S. Sistematizatsiia osnovnykh napravlenii innovatsionnykh reshenii v ugol'noi promyshlennosti Rossii. Osnovnye innovatsionnye resheniia v oblasti dobychi uglia [Systematization of the main directions of innovative solutions in Russian coal mining industry. Main innovative so-

lutions in coal mining]. *Mining Industry Journal*, 2015, no.3 (121), pp.16-22.

3. Gavrilov V.I. Rezul'taty priemochnykh ispytanii sposoba intensivifikatsii degazatsii ugol'nykh plastov gidrodinamicheskim vozdeistviem v nizhnei chasti molotkovoi lavy [Results of acceptance tests of improving coal bed degassing by hydrodynamic stimulation in the lower area of pick hammer longwall]. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no.14, pp.52-61. DOI: 10.15593/224-9923/2015.14.6.

4. Knigina G.I. Stroitel'nye materialy iz gorelykh porod [Construction materials from burnt rock]. Moscow: Stroizdat, 1966. 297 p.

5. Gaidai M.F., Vaisman Ia.I. Otsenka negativnogo vozdeistviia terrikonikov na ekologicheskuiu situatsiiu v ugledobyvaiushchikh raionakh i puti ego snizheniia [Evaluation of the negative impact of spoil heaps on the ecological situation in coal mining areas and ways to reduce it]. *Ecological Systems and Devices*, 2015, vol.12, pp.11-21.
6. Carras J., Day S., Saghafi A., Williams D. Greenhouse gas emissions from low-temperature oxidation and spontaneous combustion at open-cut coal mines in Australia. *International Journal of Coal Geology*, 2009, no.78, pp.161-168. DOI: 10.1007/s10661-009-1021-7.
7. Finkelman R. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. *International Journal of Coal Geology*, 2004, no.59, pp.19-24. DOI: 10.1016/j.coal.2003.11.002.
8. Misz-Kennan M., Fabianska M. Thermal transformation of organic matter in coal waste from Rymer Cones (Upper Silesian Coal Basin, Poland). *International Journal of Coal Geology*, 2010, no.81, pp.343-358. DOI: 10.1016/j.coal.2009.08.009.
9. Bronnikov D.M., Tsygalov M.N. Zakladochnye raboty v shakhtakh [Backfilling operations in mines]: spravochnik. Moscow: Nedra, 1989. 400 p.
10. Khairutdinov M.M., Shaimiardianov I.K. Podzemnaia geotekhnologiya s zakladkoi vyrabotannogo prostranstva: nedostatki, vozmozhnosti sovershenstvovaniia [Underground geotechnology with backfill: weaknesses, opportunities for improvement]. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and technical journal)*, 2009, no.1, pp.240-250.
11. Howrard F., Karim M. The selection of backfill materials for Barapukuria underground coal mine, Dinajpur, Bangladesh: insight from the assessments of engineering properties of some selective materials. *Environmental Earth Sciences*, 2015, vol.73, is.10, pp.6153-6156. DOI: 10.1007/s12665-014-3841-1.
12. Tichanek F., Tichanek R. Contribution to the solution of thermally active reclamation of coal waste heaps. *14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Proceedings*. Albena, 2014, pp. 777-791. DOI: 10.5593/SGEM 2014/B13/S3.100.
13. Makarov A.B. Tekhnogennye mestorozhdeniia mineral'nogo syr'ia [Technogenic deposits of mineral raw materials]. *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal*, 2000, no.8, pp.76-80.
14. Buravchuk N.I. Perspektivnye napravleniia utilizatsii otkhodov dobychi i szhiganiia uglei [Perspective directions of recycling of production and burning of coals]. *Materialy 5 mezhdunarodnoi konferentsii «Sotrudnichestvo dlia resheniia problemy otkhodov»*. Khar'kov, 2008, pp.120-123.
15. Batalin B.S., Belozeroва T.A., Gaidai M.F. Stroitel'naia keramika iz terrikonikov Kizelovskogo ugol'nogo basseina [Construction ceramics from spoil heaps of the Kizel coal basin]. *Steklo i keramika*, 2014, no.3, pp.8-10.
16. Panov B.S., Proskurnia Iu.A. Model' samovozgoraniia porodnykh otvalov ugol'nykh shakht Donbassa [Model of spontaneous combustion of waste dumps of coal mines in the Donbass coal basin]. *Geologiya ugol'nykh mestorozhdenii*. Ekaterinburg, 2002, pp. 274-281.
17. Zborshchik M.P., Osokin V.V. Predotvraschenie samovozgoraniia gornykh porod [Prevention of spontaneous combustion of rocks]. Kiev: Tekhnika, 1990. 176 p.
18. Zborshchik M.P., Osokin V.V., Panov B.S. Mineralogicheskie osobennosti osadochnykh gornykh porod, sklonnykh k samovozgoraniiu [Mineralogical features of the sedimentary rocks, inclined to spontaneous combustion]. *Razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh*, 1989, no.83, pp.92-98.
19. Baev O.A. Protivofil'tratsionnye pokrytiia s primeneniem bentonitovykh matov dlia nakopitelei zhidkikh otkhodov [Impervious coverage with the use of bentonite mats for liquid waste storage]. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsi*, 2013, no.3 (11), pp.115-124.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Вайсман Я.И., Гайдай М.Ф. Разработка технологии консервации террикоников в целях снижения их негативного воздействия на окружающую среду и сохранения ресурсного потенциала // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т.15, №19. – С.175–184. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.19.8

Please cite this article in English as:

Vaisman Ia.I., Gaidai M.F. Development of the technology for conservation of spoil heaps in order to reduce its negative impact on the environment and preserve resource potential. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2016, vol.15, no.19, pp.175–184. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.19.8