

ГЕОЛОГИЯ

УДК 624:131.526

*В. М. Кнатько, Е. В. Щербакова, М. В. Кнатько***РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭКОЛОГИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНЕРАЛЬНО-МАТРИЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

1. О рациональном подходе к решению проблемы обезвреживания и утилизации отходов. Обезвреживание и утилизация промышленных и бытовых отходов в настоящее время одна из наиболее злободневных проблем геоэкологии и охраны геологической среды от их негативного влияния. Промышленные и бытовые отходы обуславливают развитие губительных процессов для биосферы, а также оказывают разрушительное действие на природную среду. В большинстве случаев эти техногенные образования представляют собой химически неуравновешенные системы, содержащие различные агрессивные и токсичные вещества. Их миграция в геологическую среду нарушает эволюционно сложившиеся геохимические равновесия минеральных образований, что, в свою очередь, негативно воздействует на нормальный ход и естественное развитие биосферных процессов.

Особо опасны для биосферы и геологической среды жидкие и вязкопластичные отходы (в виде шламов, осадков и т. п.), поскольку в них содержатся миграционно-активные экотоксиканты (тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения, нефтепродукты, патогенная микрофлора и т. д.). Поэтому предотвращение миграции и накопления экотоксикантов в геологической среде наряду с полным устранением или ограничением их вредного влияния на биосферные процессы – одно из важнейших направлений исследований при решении современных проблем инженерной геоэкологии.

Большинство существующих методов обезвреживания, сжигания, накопления и захоронения отходов на специально оборудованных полигонах в шламохранилищах и санкционированных свалках носят явно затратный характер и, безусловно, экологически недостаточно эффективны [1–3]. Они не направлены на ресурсосбережение и по существу являются негативной альтернативой безотходному производству. Кроме того, следует иметь в виду, что хотя любые отходы и являются побочными продуктами различных техногенных процессов, однако они включают в себя определенный потенциал энергетических, химических и вещественных ресурсов, которые можно и должно подвергнуть рециклингу или утилизации.

2. Теоретические основы минерально-матричных технологий обезвреживания и утилизации отходов. Минерально-матричные (ММ) технологии обезвреживания и утилизации различных отходов принципиально отличаются от известных и характеризуются рядом преимуществ. В основу предложенных технологических решений положена минерально-генетическая концепция преобразования токсичных отходов и не утилизируемой части твердых бытовых отходов (ТБО) в экологически безопасные композиционные материалы, техногенные укрепленные грунты и т. д. [4, 5]. Прежде всего необходимо отметить, что разработанные ММ-технологии обезвреживания и утилизации отходов отличаются тем, что при их реализации используется потенциальная химическая энергия отходов, в том числе и экотоксикантов, содержащихся в преобразуемых отходах. Это исключает нерациональные

технологические операции по их нейтрализации. В ММ-технологиях химически активные компоненты отходов участвуют в процессах синтеза новообразований, обладающих вяжущими свойствами, в результате чего они становятся компонентами новой структуры формирующегося композиционного материала. Для осуществления этих процессов применяются специально трансформированные природные минеральные системы на основе глин или глинистых пород. Алюмосиликаты таких пород, подвергшись интенсивному кислотно-щелочному гидролизу, преобразуются в высокодисперсную минерально-матричную систему, характеризующуюся предельным неравновесным состоянием, повышенной химической активностью и сорбционной емкостью. Согласно принципу Ле Шателье, данная система стремится вернуться в равновесное состояние и благодаря этому претерпевает самопроизвольный естественный процесс регенерации, в ходе которого происходит синтез алюмосиликатных вяжущих комплексов [4]. При этом в их состав вовлекаются всевозможные (органическое и неорганические) химически активные загрязнители (экотоксиканты), содержащиеся в преобразуемых отходах (твердых, вязкопластичных и жидких), а наиболее активные химические соединения (такие как комплексы тяжелых металлов) играют роль центров образования новой равновесной структуры. Не трудно убедиться, что рассматриваемый процесс по существу имитирует или искусственно воспроизводит природные процессы литогенеза в дисперсных минеральных средах (например, в осадках в ходе их диагенеза и формирования различных осадочных пород) [5]. Таким образом, физико-химическая сущность преобразования токсичных отходов в экологически безопасные композиционные материалы представляет собой искусственное воспроизводство природных процессов минералообразования [6].

В соответствии с изложенными теоретическими положениями были разработаны следующие технологические направления их практического использования:

1) хемосорбционная минерально-матричная технология (ХММ-технология) очистки промышленных стоков и регенерации загрязненных вод поверхностных водоемов с применением модифицированных алюмосиликатных сорбентов, которые представляют собой специальные композиционные материалы, получаемые на основе дешевого природного сырья (глинистых пород) и промышленных отходов;

2) интеграционная минерально-матричная технология (ИММ-технология) обезвреживания путем литификации различных видов промышленных (твердых, вязкопластичных и жидких) и ТБО с последующей их утилизацией в результате производства композиционных материалов.

ХММ-технология рассчитана на поглощение экотоксикантов из загрязненной воды с последующим формированием осадка, в котором протекают процессы литификации, обеспечивающие его экологическую безопасность. ИММ-технология реализуется благодаря рациональному подбору компонентов взаимодействующей системы (отход-гидролизованые алюмосиликаты) и суммирования потенциально положительных химических и механических свойств всех составляющих взаимодействующей системы. В ИММ-технологии продуктивно сочетаются научные принципы теории синтеза неорганических вяжущих веществ (ТСВВ) в дисперсных грунтах и известные методические рекомендации по подбору оптимальных механических смесей, отличающихся повышенной плотностью, пониженной пористостью и благодаря этому улучшенными физико-механическими свойствами композиционного материала [4-6].

В развитие ХММ- и ИММ-технологий, а также в целях повышения надежности закрепления (связывания) отдельных экотоксикантов отходов в состав взаимодействующей системы вводятся специально подобранные дополнительные мелкодисперсные сорбенты, которые интегрируются в массу минеральной матрицы. Такие специальные сорбенты играют роль концентраторов загрязнителей определенного типа. В результате указанного происходит иммобилизация экотоксикантов. Включение таких сорбентов в минеральную матрицу наиболее важно для связывания низкомолекулярных углеводородов и других неионогенных соединений, неэффективно сорбируемых на зарядовых центрах минеральной матрицы. Капсулированные минеральной матрицей концентраторы загрязнителей оказываются изолированными от окружающей среды ее недренлирующей или нефилтующей массой ($K_{\phi} = 10^{-6} - 10^{-7}$ м/сут.). Спектр возможных к применению дополнительных сорбентов достаточно широк – от минеральных до органических соединений. Критериями их применимости служат высокая сорбционная емкость к содержащимся в отходах экотоксикантам и способность встраиваться в минеральную матрицу. Примером такого сорбента является углеродный сорбент – ультрадисперсный вспученный графит. Он универсален по отношению к сорбции широкого круга загрязнителей, по ряду загрязнителей имеет предельно высокую сорбционную емкость, химически стоек и стабилен во времени. Также перспективны сорбенты природного происхождения, в частности торфяные. Разработана технология совмещения таких сорбентов с алюмосиликатными минеральными матрицами. В настоящее время она в соответствии с зарегистрированными Техническими условиями (ТУ на состав минеральной матрицы с участием специализированных сорбентов и технологии переработки отходов) применяется при промышленной переработке буровых шламов [7].

При обезвреживании и утилизации вязкопластичных отходов (предельно обводненных шламов, осадков, нефтезагрязненных глинистых грунтов и т. п.) целесообразно использовать добавки аминокислотных соединений (АКС), получаемых из токсичных отходов химических и металлургических предприятий. Данные добавки позволяют снизить липкость обезвреживаемой вязкопластичной массы, улучшить ее технологические свойства при перемешивании и уплотнении за счет иммобилизации избыточной влаги и вовлечения ее в полимеризационные процессы взаимодействующих систем [8].

С помощью указанных выше добавочных сорбентов и комплексообразователей обеспечивается надежная экологическая безопасность композиционных материалов на основе отходов. При этом достигается более полная

иммобилизация экотоксикантов различной природы, а получаемая продукция представляет собой комплексно-минеральный или органоминеральный композит с регулируемыми физико-механическими и физико-химическими свойствами. При переработке токсичных отходов с использованием ИММ-технологии решается задача по оптимизации системы присутствующих в отходах химических соединений с учетом их агрегатного состояния и вносимых компонентов минеральной матрицы. Рациональное сочетание тех и других соединений определяет свойства конечной продукции. Таким образом, используя разработанный и испытанный инструментарий, сложную проблему обезвреживания и утилизации отходов можно перевести в инженерную задачу проектирования технологии преобразования отходов как сырья в заданный композиционный материал.

Рассмотрим наиболее характерные варианты использования минерально-матричных технологий, обеспечивающих ресурсосбережение и экономию средств при обезвреживании и утилизации многотоннажных отходов.

3. ХММ-технология очистки промышленных стоков и загрязненных вод поверхностных водоемов. Очистка загрязненных вод приобрела в настоящее время злободневный характер, так как при систематическом увеличении их объема многократно возрастает негативное влияние этих отходов на окружающую среду. В Российской Федерации наибольшее распространение в промышленности получили химреагентный и сорбционный способы очистки промышленных стоков. Оба способа имеют определенные достоинства и недостатки [6, 9–12].

ХММ-технология очистки и регенерации загрязненных вод практически лишена недостатков химреагентного и сорбционного способов и в то же время обладает их достоинствами: большой производительностью и высокой степенью очистки (до 95–99% и более). Вместе с тем она отличается в лучшую сторону по технико-экономическим показателям (дешевле в несколько раз) благодаря использованию модифицированных алюмосиликатных сорбентов, которые могут применяться многократно в процессе заводской очистки промышленных стоков. Эти сорбенты производят путем совмещения (при нормальной и/или повышенной температуре и давлении) широко распространенного природного сырья – глинистых пород с промышленными отходами, интенсифицирующими процессы кислотного-щелочного гидролиза алюмосиликатов [13, 14]. В качестве последних используются кислоты и щелочные промышленные стоки, отработанные травильные растворы (кислоты и щелочи), карбидный шлам, высокоосновные золы уноса, низкомарочные цемент и известь и т. д. В данном случае получаемый пастообразный алюмосиликатный сорбент представляет собой специальный композиционный материал, который по существу является сложным полифункциональным реагентом для нейтрализации и хемосорбционной очистки различных видов загрязненных вод. Производство и применение модифицированных алюмосиликатных сорбентов решает одновременно две важные в экологическом отношении задачи – утилизацию опасных для окружающей среды указанных выше промышленных отходов и получение на их основе из природного сырья эффективных и дешевых сорбентов для очистки загрязненных вод [13, 14].

Модифицированные алюмосиликатные сорбенты обладают комплексным сорбирующим действием, обеспечивающим высокую степень очистки воды без привязки процесса к узкому диапазону рН. Предварительно переведенный очищаемой водой пастообразный сорбент в разбавленную суспензию (по Т:Ж = 1:10–15), благодаря присущим ему буферным свойствам (кислотным или щелочным), одновременно с очисткой воды выполняет ее нейтрализацию до требуемого уровня рН. Хемосорбционное сорбирующее действие вносимого в загрязненную воду модифицированного алюмосиликатного сорбента достигается за счет наличия в нем следующих сорбционно-активных фаз, сформировавшихся в результате кислотного-щелочного гидролиза алюмосиликатов глинистой породы:

- коллоидно-дисперсной и золь-гелевой фаз в виде глинозема $Al(OH)_3 \cdot nH_2O$, кремнегеля $SiO_2 \cdot nH_2O$, гелей гидроксидов железа $FeO \cdot nH_2O$, $Fe_2O_3 \cdot mH_2O$ и т. д.;

- взвешенных частиц твердой фазы алюмосиликатов глинистых пород, подвергшихся кислотно-щелочной деструкции и энергетическому разбалансированию кристаллических решеток поверхностных зон глинистых минералов и их пакетов;
- коллоидно-дисперсных и золь-гелевых фаз органических веществ, содержащихся в глинистых породах;
- молекулярно- и ионно-растворимых фаз, образовавшихся в ходе кислотно-щелочного гидролиза алюмосиликатов глинистой породы, способствующих процессам комплексобразования и сорбции различных ингредиентов дисперсионной среды и т. д.

При этом коллоидно-дисперсная, золь-гелевая, молекулярно- и ионно-растворимые фазы сорбента выполняют свою функцию сквозьрастворно (т. е. во всем объеме очищаемой жидкости), а твердая фаза (взвешенные частицы) – топохимически, т. е. контактным действием за счет наличия на их поверхности свободных энергетических связей (центров), разбалансированных кристаллических решеток глинистых минералов в результате кислотно-щелочного гидролиза [15, 16].

Модифицированные алюмосиликатные сорбенты могут применяться для очистки промышленных стоков, содержащих тяжелые металлы, аммиакаты, нефтепродукты, масла, полиароматические соединения, синтетические поверхностно-активные вещества и радионуклиды [11]. Они отличаются еще и тем, что ими можно производить очистку кислых, щелочных и нейтральных стоков, что определяет их универсальность и технологичность. Образующийся осадок после осветления очищаемой жидкости (0,5–1 ч) экологически безопасен, кроме того, может применяться повторно как сорбент и утяжелитель при использовании ХММ-технологии. Также он пригоден для производства композиционных материалов типа укрепленных грунтов, гидроизоляционных материалов и рекультивационных смесей при ликвидации шламохранилищ.

Указанные уникальные свойства модифицированных алюмосиликатных сорбентов позволили разработать экологически безопасный способ очистки вод поверхностных водоемов, загрязненных неорганическими веществами (например, тяжелыми металлами) и органическими веществами (нефтепродуктами, смесями масел и нефти, СПАВ и т. д.) [17]. Очистка загрязненных вод поверхностных водоемов достигается через 0,5–6 ч, в зависимости от расхода сорбентов: при расходе по Т:Ж = 1:1000 осветление жидкости происходит через 0,5–0,8 ч после ее замутнения, при Т:Ж = 1:4000 – через 4–6 ч. Процесс очистки и образующийся осадок на дне водоема не причиняют вреда микроорганизмам и гидробионтам, так как рН осадка находится в пределах 7–7,5 ед. Кроме того, формирующийся осадок экранирует очищенную воду от десорбции загрязнителей из донных отложений. Предложенный способ очистки загрязненных вод поверхностных водоемов экологически безопасен, экономичен и отличается технологичностью, так как разбавленную суспензию сорбента в очищаемой жидкости можно вводить в водоем с помощью высоконапорного насоса.

4. Обезвреживание и утилизация вязкопластичных шламов, донных осадков и нефтезагрязненных грунтов с помощью ИММ-технологии. 4.1. Обезвреживание и утилизация избыточного активного ила коммунальных очистных сооружений. На коммунальных очистных сооружениях городов РФ систематически накапливается большое количество избыточного активного ила (АИ). Он отличается предельно высоким влагосодержанием (более 90% по весу), а сухой его остаток на 2/3 состоит из разнородных органических веществ. Органические и неорганические вещества АИ преимущественно находятся в коллоидно-дисперсном и золь-гелевом состояниях и характеризуются значительной физико-химической активностью. Это обуславливает чрезмерно высокую их гидратацию, малую дренируемость и предельно замедленную седиментацию. В ходе своего формирования АИ аккумулировал в себя большой запас химической энергии, которую можно полностью использовать при осуществлении ИММ-технологии для его утилизации. АИ имеет несомнен-

ное преимущество перед другими отходами и фактическую ценность для технологических процессов синтеза органоминеральных вяжущих веществ. В связи с тем, что в ходе осуществления процессов биологической очистки стоков вещественная масса АИ проходит I, II и III условные стадии физико-химических процессов ТСВВ (в частности, процессы растворения, диссоциации, обменных и окислительно-восстановительных реакций, формирования первичных предельно гидратированных соединений и их коллоидацию), при использовании ИММ-технологии для утилизации АИ с целью осуществления недостающих IV и V стадий ТСВВ (фазовых переходов первичных соединений и синтеза вяжущего вещества) требуется лишь частично изменить состав дисперсной фазы АИ (путем увеличения концентрации твердых – скелетных частиц) и повысить значение pH среды на 3–4 единицы (до $\text{pH} > 9-10$) при наличии во взаимодействующей системе гидролизуемых алюмосиликатов. Это заключение полностью подтвердилось экспериментальными исследованиями [18]. Синтезирующееся на основе АИ и гидролизованных алюмосиликатов органоминеральное вяжущее вещество при осуществлении ИММ-технологии обладает гидравлическими свойствами – твердеет в воде и обеспечивает значительную прочность получаемому композиционному материалу в виде укрепленного техногенного грунта, рекультивационной смеси, гидроизоляционного материала, тампонажного раствора и т. д.

Смесь для рекультивации шламохранилищ содержит следующие компоненты: активный ил (шлам-осадок), золу-уноса, мелкозернистый заполнитель, алюмосиликатную породу [10]. В качестве мелкого заполнителя могут применяться высевки шлака с модулем основности $M_o > 1$, горелая формовочная земля и мелкозернистый пылеватый песок или супесь. Алюмосиликатная порода может быть в виде глины или суглинка. Для получения композиционного материала с повышенными прочностными свойствами (т. е. укрепленного техногенного грунта) в указанную смесь дополнительно вводят малые добавки портландцемента или извести (или то и другое вместе в равных количествах). При этом прочность техногенного грунта в водонасыщенном состоянии составляет 1,5–2,5 МПа. Такой композиционный материал пригоден для устройства нижних слоев оснований дорожных покрытий. Кроме того, важно отметить, что получаемые материалы на основе АИ и гидролизованных алюмосиликатов экологически безопасны, так как обеззараживание АИ происходит в результате щелочного гидролиза (при pH среды больше 9–10) – микроорганизмы полностью уничтожаются, а обезвреживание АИ от содержащихся в нем тяжелых металлов достигается благодаря хемосорбционному их поглощению сформировавшейся алюмосиликатной минеральной матрицей [10].

С учетом указанного выше был разработан способ производства высокоэффективных органоминеральных комплексных удобрений на основе АИ [19]. Способ производства указанных удобрений из органических отходов (АИ, АИ + фекальные массы) и гидролизованных алюмосиликатов отличается тем, что в органические отходы вначале вносят щелочной реагент, например оксид кальция, и доводят pH смеси до 9,5–11, а затем дисперсный алюмосиликат (в частности, глину в виде порошка). Полученную смесь выдерживают в течение суток с целью более полной реализации щелочного гидролиза алюмосиликатов и формирования сорбционно-активной минеральной матрицы. Затем смесь для корректировки уровня pH до 7–7,5 дополняют наполнителем – или растительным грунтом, или торфом, или дисперсными растительными отходами. При этом реакция среды сформированного органоминерального удобрения устанавливается в пределах pH 6,5–7,5, что делает его безопасным для растений.

4.2. Обезвреживание и утилизация донных осадков, вязкопластичных шламов и нефтезагрязненных грунтов. Донные отложения водоемов, расположенных на территории крупных населенных пунктов, загрязнены тяжелыми металлами (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, As, Hg и др.), углеводородами, полиароматическими соединениями и различными видами детерген-

тов (поверхностно-активными веществами синтетическими и естественного происхождения и др.). Еще в большей степени загрязнены указанными экотоксикантами осадки шламохранилищ. Загрязнители, содержащиеся в осадках, находятся в миграционно-активной форме, что способствует их распространению в окружающей среде.

Обезвреживание загрязненных осадков с помощью ИММ-технологии достигается путем внесения в них предварительно гидролизованных алюмосиликатов до $\text{pH} > 9$. Это обеспечивает обезвреживание экотоксикантов, содержащихся во всех фракциях осадков. Гидролизованные алюмосиликаты вносят в виде водной суспензии. Дополнительно могут быть добавлены коагулянты (хлориды металлов с валентностью 2 и более). Загрязненные осадки могут обрабатываться в виде пульпы, которая поступает в емкость (баржу) одновременно с подачей водной суспензии гидролизованных алюмосиликатов и водного раствора коагулянтов. Совмещение загрязненных осадков с гидролизованными алюмосиликатами производят в весовом соотношении от 1:1 до 1:5 к сухой массе загрязненных осадков. Если загрязненные осадки находятся в состоянии пульпы, то гидролизованные алюмосиликаты вносят в виде суспензии в весовом соотношении от 1:300 до 1:2000 к массе пульпы [20]. В результате применения указанной технологии происходит отделение осветленной и очищенной от загрязнителей жидкой фазы из пульпы донных отложений и хемосорбционное поглощение алюмосиликатной матрицей экотоксикантов твердой фазы. При этом очищенная вода может быть сброшена в водоем, а обезвреженный и в значительной мере обезвоженный осадок (до влагосодержания 70–75%) можно использовать для формирования экологически безопасного техногенного грунта, применяемого для подсыпки и планировки территории в прибрежной зоне водоемов. Вместе с тем из обезвоженного осадка возможно производство укрепленных грунтов для различных строительных работ.

С целью получения композиционного дорожно-строительного материала был разработан и запатентован специальный состав добавок для обезвреживания и литификации бытовых и промышленных отходов, а также донных осадков. В состав смеси включают следующие компоненты: алюмосиликатную породу, известь, портландцемент, аминокислотные соединения меди и/или железа, полипропиленовое волокно [8]. При совмещении указанной литифицирующей смеси (ЛС) с донными осадками, шламами, нефтезагрязненными грунтами в весовом соотношении от 0,2:1 до 0,5:1 обеспечиваются требуемые физико-механические свойства композиционного материала.

Обезвреживание и утилизация вязкопластичных буровых шламов и нефтезагрязненных грунтов с помощью ИММ-технологии осуществляются аналогично применяемой для донных отложений с учетом определенной специфики их агрегатного состояния, что учитывается в предложенных нами способах [21–23].

5. Способы обезвреживания и утилизации ТБО с использованием ИММ-технологии. ТБО по распространенности и объемам накопления особо опасны для окружающей среды. Особенно остро эта проблема проявляется в таких крупных мегаполисах как Москва и Санкт-Петербург. Количество образующихся ТБО в Москве ежегодно составляет 2–2,5 млн т (или более 12 млн м³), а в Санкт-Петербурге – более 6,5 млн м³. Захоронение на свалках или сжигание ТБО в печах мусоросжигающих заводов (МСЗ) не отвечает экологическим требованиям. Строительство новых МСЗ в Канаде и ряде штатов США, а также в западно-европейских странах постепенно вытесняется использованием ТБО в качестве вторичного сырья (до 30–55 масс.%) [2].

Как показывает анализ существующих методов обезвреживания различных отходов путем сжигания, накопления и захоронения на специально оборудованных полигонах и санкционированных свалках, они носят затратный характер и экологически недостаточно эффективны. К тому же они не направлены на ресурсосбережение [1–4].

Нами разработаны три способа обезвреживания и утилизации твердых бытовых отходов с использованием ИММТ [24–26]:

заводской способ обезвреживания и утилизации ТБО;

способ обезвреживания долговременных свалок ТБО (при толще отложений свалки более 1–2 м);

способ обезвреживания несанкционированных свалок ТБО (имеющих толщу тела свалки менее 1 м).

Отличительной особенностью этих технологий является совмещение хемосорбционно-активной алюмосиликатной суспензии с теми или другими видами ТБО согласно условиям их залегания и переработки. В результате реализации разработанных способов обеспечивается обезвреживание ТБО, упреждается миграция экотоксикантов в окружающую среду, осуществляются полная рекультивация территории, занимаемой свалками ТБО, и включение ее в хозяйственный оборот.

6. Производство твердого топлива на основе шламов, содержащих углеводороды, с использованием ИММ-технологии. Как показали выполненные нами исследования, с помощью этой технологии можно перерабатывать в твердое топливо шламы нефте- и мазутохранилищ, а также различные промышленные отходы, содержащие углеводороды (нефтепродукты, масла, жиры, смолы, кубовые остатки нефтеоргсинтеза, кислый гудрон и т. д.). Следует отметить, что указанные отходы имеют неоднородное строение и разный химический состав. Они могут быть жидкими, вязко- и твердопластичными гетерогенными смесями с большим содержанием воды и посторонних включений. В них содержатся различные экотоксиканты, в том числе тяжелые металлы. Приведенные сведения об агрегатном состоянии и химическом составе рассматриваемых отходов свидетельствуют о невозможности их непосредственного использования в качестве топлива на стандартном теплотехническом оборудовании. Применение ИММ-технологии позволяет утилизировать указанные отходы в качестве одного из важнейших сырьевых компонентов при производстве твердого топлива. Получаемое в данном случае твердое топливо представляет собой конгломерат рационально подобранных органических и неорганических ингредиентов, в исходном состоянии представляющих собой твердые (порошковые или мелкораздробленные), вязкопластичные и жидкие вещества. Преобладающая часть массы топливного конгломерата (ТК) – это продукты растительного происхождения (торф, древесные опилки, молотая солома, лузга и т. д.), меньшая часть – углеводородные отходы.

Входящие в ТК ингредиенты подразделяются на следующие группы:

Группа 1 – жидкие, вязкопластичные и твердопластичные углеводородные, отходы (осадки мазута, нефтешламы, отработанные масла, кислые гудроны и т. д.). Ее ингредиенты отличаются высокой теплотворной способностью и фактически в большей части определяют теплотворную способность ТК.

Группа 2 – волокнистые и сыпучие вещества (торф, древесные отходы, лузга и т. п.) выполняют роль органического горючего наполнителя, который к тому же является адсорбентом жидких компонентов группы 1, что способствует формированию брикетов твердого топлива. Наряду с этим ингредиенты данной группы обеспечивают также существенную часть теплотворной способности твердого топлива.

Группа 3 – ингредиенты ТК, обеспечивающие генерацию веществ, активирующих процесс горения (например, свободных электронно-возбужденных атомов водорода и кислорода). Взаимодействие электронно-возбужденных атомов и молекул с тяжелыми предельными углеводородами приводит к протеканию реакций диссоциации углеродного сырья с выделением тепловой энергии и образованием радикалов высокомолекулярных соединений, активно участвующих в процессе горения.

Группа 4 – ингредиенты, связывающие влагу, а также токсичные соединения тяжелых

металлов, оксиды серы, азота и фосфора. Кроме того, они обеспечивают требуемые монолитность и прочность брикетов ТК. К ним относятся добавки неорганических веществ (известняк, цемента), входящих в состав модифицированной глины, способствующие ее щелочному гидролизу и формированию обладающей вяжущей способностью алюмосиликатной минеральной матрицы. Благодаря снижению влажности ТК в результате образования кристаллогидратов (синтезирующегося кальцийалюмосиликатного вяжущего при формировании брикетов ТК) происходит увеличение теплоты их сгорания. Кроме того, обеспечиваются монолитность, требуемая прочность и водостойчивость брикетов ТК. Наряду с этим брикеты приобретают предельно пониженную водопоглощаемость за счет гидрофобизирующего эффекта углеводородных составляющих группы 1. Щелочные свойства ТК исключают процессы гниения входящих в него органических веществ группы 2. Важно отметить, что соединения неорганических веществ группы 4 при горении брикетов ТК вступают в твердофазовые реакции с оксидами серы, азота, фосфора и углерода. Это приводит к связыванию указанных токсичных оксидов, снижению их выхода в газообразные продукты горения и повышению экологичности топлива. Тем самым обеспечивается требуемое соответствие ТК санитарным нормам.

Наличие в брикетах ТК негорючих неорганических ингредиентов группы 4, входящих в состав вяжущего вещества, не превышает допустимых норм зольности топлива в сравнении с каменным углем (зольность брикетов ТК находится в пределах 10–20%). Теплотворная способность брикетов ТК в зависимости от соотношения ингредиентов составляет 3000–5500 ккал/кг и более. Процесс их горения происходит в основном в надслоевом пространстве за счет высокого выхода летучих веществ (до 90% и более от суммарного содержания органических веществ). Процесс образования и горения коксовых частиц существенно ограничен, что уменьшает или вообще исключает процессы шлакообразования, характерные для других твердых топлив (например, каменного угля). Способы производства брикетов ТК и их составы защищены патентами РФ [27–30].

В настоящее время налажен выпуск брикетов ТК в виде цилиндров диаметром 70 и 150 мм и высотой от 50 до 200 мм. Они могут иметь осевое внутреннее отверстие диаметром до 30 мм. Производственные линии позволяют гибко изменять состав топлива и использовать даже переувлажненные материалы группы 2 (в частности, торф с содержанием влаги до 75%).

В заключение необходимо отметить, что запасы естественного органического сырья (входящего в ингредиенты группы 2) практически не ограничены за счет его воспроизводства в процессе биосинтеза (торф, древесина, солома и т. д.). Кроме того, в промышленном производстве происходит накопление различных углеродных и углеводородных отходов. Поэтому производство брикетов ТК перспективно практически во всех регионах РФ, а в отдельных случаях дают возможность решать задачи обеспечения энергетической безопасности регионов, не обладающих собственными топливными ресурсами.

Рассмотренные направления использования минерально-матричных технологий позволяют рационально обезвреживать и утилизировать различные промышленные и бытовые отходы и тем самым способствовать решению ряда проблем геэкологии и защиты геологической среды.

Summary

Knatko V. M., Scherbakova E. V., Knatko M. V. Solving problem geological ecology tasks with the help of mineral-matrix technology.

Issues of the ecological risk of different kinds of industrial and common wastes are examined. Theoretical basis of mineral-matrix technology are stated and the rational ways of its application for the utilization and sterilization of wastes to ecologically safe composition materials as fortified man-caused soil, which may be used to different construction goals,

are substantiated. The expediency of liquid, viscoplastic and solid industrial wastes application for silica-alumina sorbents with increased sorptive capacity and patch fuel production is proved. Technology of sterilization and reclaiming of solid common waste dumps is elaborated.

Литература

1. *Архипченко А. И., Вовчанов В. В., Гусаров Е. Е.* Отходы производства и общества как потенциальный ресурс и как загрязнители – пути технического прогресса утилизации и возможность уменьшения экологической опасности // Жизнь и безопасность (СПб.). 2001. № 1–2. 2. *Кнатко В. М., Кнатко М. В., Копылов А. М., Барков В. М.* Опыт обезвреживания отходов // Жилищно-коммунальное хозяйство. 2003. № 1. 3. *Кнатко В. М., Кнатко М. В., Копылов А. М., Барков В. М.* Новые способы переработки твердых бытовых отходов // Жилищно-коммунальное хозяйство. 2003. № 6. 4. *Кнатко В. М., Кнатко М. В., Щербакова Е. В.* ИММ-технология против отходов. Искусственное воспроизводство природных процессов минералообразования – перспективное направление обезвреживания и утилизации промышленных отходов // Энергия: экономика, техника, экология. 2001. № 12. 5. *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Производство экологически безопасных композиционных материалов из отходов – одно из перспективных направлений охраны геологической среды // Сергеевские чтения: Юбилейная конференция, посвященная 90-летию со дня рождения акад. Е. М. Сергеева. М., 2004. 6. *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Минерально-матричные технологии обезвреживания и утилизации отходов – новые направления в решении проблем защиты геологической среды // Геозология, инженерная геология, гидрогеология, геокреология. 2005. № 4. 7. ГУТ ТУ 5745-003-48952916-2001, МКД ТУ 0391-010-48952916-2003. 8. *Патент* № 2162068 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В., Масленникова И. С.* Смесь для обезвреживания и литификации бытовых и промышленных отходов, а также донных осадков // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 2001. № 2. С. 337. 9. *Кнатко В. М., Щербакова Е. В.* Регенерация загрязненных вод новыми видами алюмосиликатных сорбентов // Сергеевские чтения / Под ред. В. И. Осипова. М., 2001. Вып. 3. 10. *Патент* № 2084417 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В.* Смесь для рекультивации шламохранилищ // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 1997. № 20. С. 248. 11. *Патент* № 2143404 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Способ очистки промышленных стоков // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 1999. № 36. С. 130. 12. *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Преимущества минеральной матричной технологии регенерации загрязненных вод // *Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география.* 2001. Вып. 4 (№ 31). 13. *Патент* № 2096081 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В.* Способ производства сорбента тяжелых металлов и других загрязнителей на основе глинистых пород // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 1997. № 32. С. 169. 14. *Патент* № 2143316 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Сорбент на основе соединений алюминия // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 1999. № 36. С. 93. 15. *Щербакова Е. В.* Геохимические основы и процессы формирования сорбционно-активной алюмосиликатной матрицы на основе глинистых пород // *Материалы Междунар. конференции «Науки о земле и образование».* СПб., 2002. 16. *Щербакова Е. В.* Минерально-матричная хемосорбционная технология регенерации загрязненных вод // Там же. 17. *Патент* № 2143403 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Способ очистки загрязненных вод поверхностных водоемов // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 1999. № 36. С. 130. 18. *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Владимирская Н. В., Кнатко М. В.* Физико-химическое преобразование активных илов в строительные материалы и удобрения // *Материалы Междунар. конференции «Экологическая геология и рациональное недропользование».* СПб., 2000. 19. *Патент* № 2132320 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Кнатко М. В., Щербакова Е. В., Горбачев А. В., Владимирская Н. В.* Способ приготовления удобрений из органических отходов // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 1999. № 18. С. 373. 20. *Патент* РФ № 2150437 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Способ обезвреживания загрязненных осадков // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 2000. № 16. С. 320. 21. *Патент* № 2184095 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В., Гончаров А. В., Гончарова Н. В.* Смесь для обезвреживания и литификации бытовых и промышленных отходов, донных осадков, шламов и нефтезагрязненных грунтов // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 2002. № 18 (II ч.). С. 207. 22. *Патент* № 2198142 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В., Гончаров А. В.* Способ обезвреживания бурового шлама, содержащегося в отработанном буровом растворе // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 2003. № 4 (II ч.). С. 374. 23. *Патент* № 2199569 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В., Гончаров А. В.* Смесь для обезвреживания и литификации буровых шламов и нефтезагрязненных грунтов // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 2003. № 6 (II ч.). С. 346. 24. *Патент* № 2212287 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В., Урюпин С. А.* Способ обезвреживания твердых отходов (в заводских условиях) // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 2003. № 2 (III ч.). С. 495. 25. *Патент* № 2226130 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Способ обезвреживания свалок промышленно-бытовых отходов // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов. знакам.* 2004. № 7. С. 275. 26. *Патент* № 2226131 (Российская Федерация) / *Кнатко В. М., Щербакова Е. В., Кнатко М. В.* Способ обезвреживания свалок промышленно-бытовых отходов // *Официальный бюллетень Рос. агентства по патентам и тов.*

знакам. 2004. № 7. С. 276. 27. Патент № 2125083 (Российская Федерация) / Кнатько В. М., Кнатько М. В., Казаров Г. С. Способ получения топливных брикетов // Официальный бюл. Рос. агентства по патентам и тов. знакам. 1999. № 2. С. 486. 28. Патент № 2132360 (Российская Федерация) / Кнатько В. М., Кнатько М. В., Казаров Г. С. Состав для брикетированного топлива // Официальный бюл. Рос. агентства по патентам и тов. знакам. 1999. № 18. С. 383. 29. Патент № 2174535 (Российская Федерация) / Агафонов Р. К., Ивашкин Е. Б., Кнатько М. В., Самотай М. В. Способ получения топливных брикетов и состав для брикетирования // Официальный бюл. Рос. агентства по патентам и тов. знакам. 2001. № 28 (II ч.). С. 227. 30. Патент № 2157401 (Российская Федерация) / Кнатько В. М., Кнатько М. В., Казаров Г. С. Состав для брикетированного топлива // Официальный бюл. Рос. агентства по патентам и тов. знакам. 2000. № 28. С. 201.

Статья поступила в редакцию 17 мая 2006 г.