



## УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

**М.В. Кнатъко, С.Ю. Жабриков,  
И.И. Подлипский**

**ООО "НТЦ" Технологии XXI века",  
Санкт-Петербургский государственный университет**

Применение интеграционной минерально-матричной технологии (ИММ-технология) для переработки отходов бурения позволяет производить на их основе строительный материал — грунт укрепленный техногенный (ГУТ). В статье проанализированы физико-механические и экологические характеристики этого материала, а также отдельные аспекты его применения. Рассмотренная технология способна обеспечить сведение к минимуму миграционной способности экотоксикантов, создавая при этом равновесную и долговечную структуру, эффективно препятствующую выщелачиванию загрязнителей. Данные проведенных лабораторных исследований удельной активности природных и техногенных радионуклидов, количественного состава подвижных форм и показателей острой токсичности в водных вытяжках образцов грунта укрепленного техногенного не превышают показателей гигиенических нормативов и соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям, действующим на территории Российской Федерации.

*Ключевые слова: интеграционная минерально-матричная технология, грунт укрепленный техногенный, переработка отходов бурения*

### Utilization of the Waste of the Fuel-Energy Complex

**M.V. Knat'ko, S.Yu. Zhabrikov, I.I. Podlipsky**

**LLC Scientific-and-Research Center "Technologies of the XXI Century",  
St. Petersburg State University**

The application of the mineral-matrix technology for drilling waste processing makes it possible to produce the building material based on them—the anthropogenic reinforced ground. Physicomechanical and environmental characteristics of this material and separate aspects of its application are analyzed. This technology is able to provide the reduction to a minimum of the migration ability of ecotoxicants, which is accompanied by the formation of the equilibrium and long-term structure effectively preventing pollutant leaching. The data of laboratory investigations of specific activity of natural and anthropogenic radionuclides, the quantitative composition of mobile forms, and indices of acute toxicity in aqueous extracts of anthropogenic reinforced ground samples do not exceed the indices of hygienic norms and correspond to sanitary-and-epidemiological requirements acting at the territory of the Russian Federation.

*Keywords: integration mineral-matrix technology, anthropogenic reinforced ground, drilling waste processing*

За полутравековой период активного освоения нефтегазоносных месторождений на территории России объем добычи углеводородов увеличился более чем в 500 раз и превысил в 2013 г. 520 млн т нефти и 664 млрд м<sup>3</sup> природного газа. Эта тенденция будет сохраняться и в дальнейшем, что подтверждается прогнозом Министерства энергетики Российской Федерации об увеличении показателей добычи к 2020 г. до уровня 524 млн т нефти и 826 млрд м<sup>3</sup> природного газа [1]. Однако поддержание объемов добычи углеводородного сырья и сохранение темпов развития отрасли сопряжено с наращиванием экологических проблем, как накопившихся на протяжении многих десятилетий, так и создава-

емых в процессе текущего производства. Одной из них является обращение с отходами, объем годового производства отрасли которой измеряется миллионами кубических метров. Сегодня перерабатывается только незначительная доля производимых отходов, а основная часть подвергается захоронению и требует утилизации в будущем.

Наибольшую эколого-геологическую опасность для компонентов окружающей среды представляют отходы в жидком, вязко-пластичном и мелкодисперсном виде, так как из них возможно интенсивное распространение поллютантов в окружающую среду в наиболее мобильных формах — в истинно растворимом и коллоидном виде.

При осуществлении работ по проходке скважин (как разведывательных, так и эксплуатационных) образуются, согласно федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО), следующие виды отходов: буровые шламы (БШ), буровые сточные воды (БСВ) и отработанные буровые растворы (ОБР), содержащие тяжелые металлы (Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, Ni и др.), радионуклиды, полиароматические и хлорорганические соединения, гербициды, синтетические поверхностно-активные вещества, растворимые и нерастворимые углеводороды и т.д.

Наиболее распространенными способами утилизации отходов бурения в России являются: захоронение, термическая обработка, закачка отходов в пласт-коллектор, а также химические,

механические и биологические методы переработки [2]. Однако, все указанные способы не универсальны и либо имеют узкий диапазон применения, либо не обеспечивают утилизацию всех составляющих отходов бурения, либо являются весьма затратными с точки зрения стоимости переработки единицы отхода [3].

Наиболее экологически эффективными, на взгляд авторов, являются химические (реагентные) способы утилизации, так как они позволяют при минимальных экономических затратах снизить миграцию экотоксикантов в окружающую среду и исключить возможность последующего их негативного воздействия на биосферу и геологическую среду.

Среди существующих реагентных способов отличается разработанный специалистами компании ООО "НТЦ "Технологии XXI века" способ обезвреживания различных видов промышленных отходов (жидких, вязкопластичных и твердых), получивший название интегративной минерально-матричной технологии (ИММ-технологии). Научной основой данного метода переработки является теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных минеральных средах, основанная на минерально-генетической концепции и теории оптимальных механических смесей (конгломератов), отличающихся повышенной плотностью, пониженной пористостью и, в результате этого, улучшенными прочностными и другими свойствами (Пат. 2162068 РФ, пат. 2199569 РФ). Физико-химическая сущность преобразования отходов в экологически безопасный композиционный материал состоит в искусственном воспроизводстве природных процессов минералообразования. В отличие от традиционного экобетонирования в описанном методе иммобилизация экотоксикантов происходит в результате протекания химических реакций, которые встраивают экотоксиканты

**Таблица 1. Содержание вносимых в ГУТ компонентов и отходов, % по массе**

Виды отходов			Дополнительные материалы	
БШ	ОБР	БСВ	сухая смесь*	песок
100	0	0	8 – 20/8 – 20	–
90	5	5	10 – 22/10 – 22	–
80	10	10	10 – 25/10 – 25	10 – 15
70	15	15	12 – 25/12 – 25	15 – 25
60	20	20	13 – 28/13 – 28	18 – 30
20	40	40	15 – 30/15 – 30	20 – 40

**Примечание.** Погрешность отклонения от приведенных величин  $\pm 5$  %.  
\*Числитель – цемент, знаменатель – МКД.

в структуру вносимых алюмосиликатов.

В качестве вносимых в отход веществ при реализации данного метода выступают цемент, песок, суглинки и модифицирующая комплексобразующая добавка (МКД), представляющая собой микрочастицы алюмосиликатных минералов, модифицированных ионами щелочноземельных металлов (Пат. 2329201 РФ). В ходе жидкофазных процессов взаимодействия химически активных компонентов отходов с МКД образуется композиционный материал – грунт укрепленный техногенный (ГУТ), который в свежеприготовленном состоянии представляет собой гомогенную вязкопластичную медленно твердеющую смесь с влагосодержанием 40 – 70 %.

Получаемый продукт является строительным материалом и в зависимости от проектных характеристик соответствует ГОСТ 23558-94, СНиП 2.05.02-85, СНиП 3.06.03-85, СНиП 3.02.01-87. Его санитарно-гигиенические характеристики соответствуют МУ 2.1.674-97 "Санитарно-гигиеническая оценка строительных материалов с добавлением промышленных отходов". Свойства получаемого продукта – грунта укрепленного техногенного задаются ТУ 5745-005-58330067-2013, а его производство регламентируется ТР-5745-002-2-58330067-2013 и РЦ 5745-005-4-58330067-2013.

В настоящей работе приведены результаты исследований по переработке буровых отходов, образовавшихся при проходке вертикального ствола

скважины компанией ООО "ТНК-Уват" на Усть-Тегусском нефтяном месторождении в Тюменской области в 2013 г. На основании полученных результатов даны рекомендации по применению продуктов переработки.

Соотношение компонентов и отходов бурения при изготовлении образцов приведены в табл. 1.

Получаемый материал в проектном возрасте (по истечении 28 сут после приготовления) характеризуется маркой в соответствии с соотношением между прочностью на сжатие и прочностью на растяжение при изгибе (табл. 2).

За марку по морозостойкости принимается число циклов попеременного замораживания-оттаивания, при которых снижение прочности на сжатие не превышает 25 % нормируемой в проектном возрасте (28 сут) (ГОСТ 23558-94). В зависимости от требований и с учетом конкретных условий эксплуатации возможно производство различных видов материала, обладающих необходимыми фи-

**Таблица 2. Предел прочности на сжатие  $R_{сж}$  и на растяжение при изгибе  $R_{изгб}$  различных марок ГУТ, МПа**

Марка ГУТ	$R_{сж}$	$R_{изгб}$
M10	1,0	0,2
M20	2,0	0,4
M40	4,0	0,8
M60	6,0	1,2
M75	7,5	1,5
M100	10,0	2,0

**Примечание.** Погрешность отклонения от приведенных величин  $\pm 10$  %.

**Таблица 3. Физико-механические свойства различных ГУТ**

ГУТ	$R_{сж}$ , МПа	Морозостойкость	Коэффициент фильтрации
Для устройства оснований, нижних слоев покрытий автомобильных дорог и аэродромов	1,0 – 10,0	Не ниже F5	Не нормируется
Гидроизоляционный для обустройства конструктивных слоев, а также механических геохимических барьеров	0,5 – 1,5	–	Не более $1 \cdot 10^{-5}$ м/сут

**Примечание.** Погрешность отклонения от приведенных величин  $\pm 10\%$ .

зико-механическими свойствами (табл. 3).

С целью описания параметров экологической безопасности полученные в ходе экспериментов образцы ГУТа были подвергнуты серии физико-химических и токсикологических исследований. В результате радиологических исследований было установлено, что содержание ЕРН ( $Ra^{226}$  ( $13 \pm 4$ ),  $Th^{232}$  ( $20 \pm 5$ ),  $K^{40}$  ( $580 \pm 100$ )) соответствует нормативам, предъявляемым к строительным материалам и конструкциям согласно ГОСТ, СНИП и СанПиН.

Для оценки стабильности ГУТа в окружающей среде и степени надежности капсулирования поллютантов (в том числе и тяжелых металлов) в структуре новообразованного минерального агрегата, были проведены исследования параметров интенсивности миграции (вымывания/выщелачивания) подвижных форм металлов из образцов переработанных отходов (табл. 4). При этом образец не подвергается разрушению, а помещается в сосуд с дистиллированной водой либо с водным раствором щелочи ( $pH \geq 7$ ) (для имитации контакта с природными водами) в цельном виде. Исследования

водных вытяжек проводят через 1, 3, 7, 10, 20 и 30 сут выдержки материала в растворе при температуре воздуха  $20^\circ C$  и при температуре воды  $40^\circ C$ . Лабораторные исследования проводятся при имитации эксплуатационно-климатического воздействия на полученный материал.

Эксперименты по установлению параметров токсичности показали отсутствие выраженного воздействия летучих компонентов в насыщающей концентрации на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей указанных животных, а также отсутствие раздражающего действия на кожу ( $DL_{50} > 5000,0$ ). При этом индекс токсичности  $I_t R$  при разведении  $< 5$  составил не более 80, а гибель *Daphnia Magna* при разведении  $< 100$  составила не более 10 %.

Таким образом, удельная активность природных и техногенных радионуклидов, количественный состав подвижных форм и показатели острой токсичности в водных вытяжках грунта укрепленного техногенного не превышают показателей гигиенических нормативов и соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям, действующим на территории Российс-

кой Федерации (Санитарно-эпидемиологическое заключение №78.01.06.574.Г.338 от 25.02.2014 г. и №78.01.06-4/221 от 26.02.2014 г.).

На основании проведенных лабораторных исследований образцов получаемого материала можно сделать вывод о значительном (на два и более порядка) снижении содержания подвижных форм в водной вытяжке, по сравнению с аналогичными показателями исходного отхода, что свидетельствует о высокой эффективности технологии и существенном снижении миграционной способности экотоксикантов в конечном продукте. Сравнительный анализ содержания подвижных форм в водной вытяжке исходного образца и образца конечного продукта представлен в табл. 5.

ГУТ предназначен для устройства оснований, нижних слоев покрытий автомобильных дорог и аэродромов, а также может использоваться как грунт обратной засыпки при планировочных работах, сооружении откосов и земляных валов, вне зон застройки территории зданиями с постоянно проживающим населением, дошкольных и образовательных учреждений. С учетом конкретных условий эксплуатации сооружений и на основании испытаний материал может быть использован для устройства гидроизоляционных конструктивных слоев, а также механических геохимических барьеров, например, при рекультивации шламохранилищ, оборудовании и рекультивации полигонов для хранения отходов и т.п.

Однако на практике возникают случаи невозможности применения ГУТ в качестве строительного материала по назначению, а следовательно, необходимо длительное хранение данного материала без создания каких-либо специальных условий или сооружений. Это в первую очередь вызвано несовпадением графиков производства работ по строительству объектов транспортной инфраструктуры (дорог, площадок и т. д.) с графиком переработки отходов и, как след-

**Таблица 4. Содержание подвижных форм металлов, мг/л, в водной вытяжке ГУТа, приготовленной с использованием буровых отходов**

Металл	Экспозиция, сут	
	1	3
Cu	0,003	0,007
Zn	0,013	0,075
Pb	$< 0,001$	$< 0,001$
Co	$< 0,001$	$< 0,001$
Ni	0,003	0,006
Mn	0,002	0,002

**Примечание.** Погрешность отклонения от приведенных величин  $\pm 1\%$ .

**Таблица 5. Содержание подвижных форм металлов, мг/л, в исходном отходе (по М-МВИ-80-2008) и конечном материале (по МУ 2.1.674-97)**

Металл	Исходный отход	ГУТ
Cu	1,1	0,004
Zn	9,1	0,039
Pb	65,6	0,001
Co	1	0,001
Ni	1,2	0,003
Mn	77,9	0,002

**Примечание.** Погрешность отклонения от приведенных величин  $\pm 1\%$ .

ствие, с графиком производства ГУТ. Второй объективной причиной является отсутствие области применения ГУТ в районе, где осуществляется переработка отходов, например, при точечной ликвидации шламовых амбаров, когда после завершения работ на одном участке следует передислокация оборудования на новое место. Возникновение подобных обстоятельств подтверждает многолетний опыт применения ИММ-технологии на таких объектах, как КТПБ ООО "Лукойл-Нижневожжскнефть" (г. Астрахань), ООО "ЛукойлКалининградморнефть" (г. Калининград), ДОМНГ ОАО "Юганскнефтегаз" (г. Нефтеюганск).

Поэтому при отсутствии текущего целевого применения возникает задача производства ГУТ впрок, т.е. производства промежуточного материала, который может храниться до его применения длительное время вплоть до нескольких лет без риска для экологии. Технология хранения переработанного материала впрок основана на принципе применения сухих строительных смесей. Для реализации этой технологии необходимо подготовить ровную грунтовую площадку с песчаной подсыпкой, расположенную в непосредственной близости от участка переработки отходов. Площадь этой технологической площадки должна быть не менее  $5 \text{ м}^{-1} V$ , где  $V$  — суточный объем производства участка переработки отхода,  $\text{м}^3$ . При принятии решения заготовки материала впрок технолог корректирует рецептуру с целью понижения прочностных характеристик производимого материала до  $R_{\text{сж}} < 0,1 \text{ МПа}$ , снижая расход цемента и скелетного материала. Производимый материал равномерно размещают на подготовленной площадке слоем толщиной до 300 мм. По истечении суток на затвердевший материал укладывают слой песка толщиной до 150 мм. Поверх уложенного песчаного слоя вновь размещают производимый материал и так далее, обеспечивая при этом возможность заезда транспорта на образуемый грун-

товый массив. После завершения работ перед применением или транспортировкой накопленный материал подвергается окусковыванию при помощи общестроительной техники, оснащенной навесным оборудованием типа дробильный ковш, с последующей его отгрузкой в транспорт или в отвал. Данный метод позволяет добиться получения прогнозируемого фракционного состава в диапазоне 0 — 30 мм.

В случае недостаточности одного грунтового массива для сохранения переработанных отходов их можно мультиплицировать. Укладка переработанных отходов в грунтовой массив может производиться в зимнее время, однако окусковывание накопленного в зимний период материала возможно только в теплое время года. Перед окусковыванием необходимо проверить материал на потерю им пластичности в степени, необходимой для прекращения слипания отдельных кусков между собой.

Дальнейшее применение дробленого материала возможно при создании горизонтальных гидроизоляционных слоев, сооружении подпорных грунтовых конструкций типа "стена в грунте", а также для устройства оснований, нижних слоев покрытий автомобильных дорог и аэродромов, как грунт обратной засыпки

при планировочных работах, сооружении откосов и земляных валов, вне зон застройки территории зданиями с постоянно проживающим населением, дошкольных и образовательных учреждений.

Таким образом, благодаря высокой экологической эффективности рассмотренной ИММ-технологии, получению конечного и единственного товарного продукта в виде строительного материала, представляющего собой ГУТ с конкретными и с высокой степенью точности прогнозируемыми физико-механическими свойствами, а также универсальности технологии, позволяющей использовать ее для одновременной утилизации различных видов отходов бурения, можно сделать вывод, что широкое внедрение данного метода способно результативно решить проблему переработки отходов нефтедобычи, образующихся на различных стадиях эксплуатации нефтегазовых месторождений. Тем самым станет возможна не только утилизация вновь образующихся отходов и переход на "безамбарные" методы бурения, но и ликвидация уже накопленных в хранилищах различного типа отходов нефтедобычи. Все это позволит сохранить для последующих поколений хрупкий экологический баланс и уникальную природу северных регионов нашей страны.

### Литература

1. Минэнерго улучшил прогноз по добыче нефти и газа в России к 2020 г // ЗАО "Агентство Экономической Информации "ПРАЙМ" URL: <http://1prime.ru/energy/20140113/775189703.html> (дата обращения: 02.09.2014).
2. Шорникова Е.А. Некоторые возможные способы утилизации отходов бурения и нефтедобычи // Биологические ресурсы и природопользование. Вып. 5. Сургут: Дефис, 2002. С.99-109.
3. Жабриков С.Ю. ИММ-технология — не только экологически эффективный, но и экономически привлекательный метод утилизации отходов бурения // Сб. ст. по материалам XVI-XVII Междунар. науч.-практ. конф. "Наука вчера, сегодня, завтра" № 9-10 (16). Новосибирск: Изд. "СибАК", 2014. 102 с.

М.В. Княтько — канд. физ.-мат. наук, генеральный директор, ООО "НТЦ" Технологии XXI века", 196105, Россия, г. Санкт-Петербург, Витебский пр., 11, корпус 7, e-mail: knatko@nw-tech.ru • С.Ю. Жабриков — главный инженер проекта, e-mail: zhabrikov@nw-tech.ru • И.И. Подлипский — канд. геол.-минерал. наук, ст. преподаватель, Санкт-Петербургский государственный университет, e-mail: primass@inbox.ru

Knat'ko M.V. — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Director General, LLC Scientific-and-Research Center "Technologies of the XXI Century", 196105, Russia, St. Petersburg, Vitebskii pr. 11, build. 7; e-mail: knatko@nw-tech.ru • Zhabrikov S.Yu. — Chief Engineer of the Project, e-mail: zhabrikov@nw-tech.ru • Podlipskii I.I. — Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Teacher, St. Petersburg State University, 199034 Russia, St. Petersburg, Universitetskaya nab., 7-9, e-mail: primass@inbox.ru