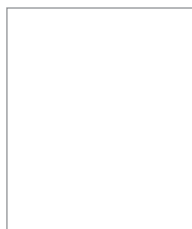




УДК

## ИММ-технология как эффективный драйвер развития рынка переработки отходов нефтедобычи

Imm-Technology as an Effective Driver for the Development of Market Waste Oil Production



**М.В. Кнатько**, к.ф.-м.н.  
knatko@nw-tech.ru

**С.Ю. Жабриков**  
zhabrikov@nw-tech.ru

**И.И. Подлипский**, к.г.-м.н.  
primass@inbox.ru

/Научно-технический центр  
«Технологии XXI века», Российская  
Федерация, г. Санкт-Петербург/

M.V. Knatko, PhD

S.Yu. Zhabrikov

I.I. Podlipskiy, PhD

/Principal ecologist of the Scientific-technical  
center «Technologies of XXI century», Russian  
Federation, Saint-Petersburg/

Поиску комплексного подхода к вопросу утилизации промышленных отходов, в том числе отходов нефтедобычи, с каждым годом уделяется все большее внимание, а необходимость широкого внедрения экологически эффективного и экономически привлекательного метода переработки отходов становится приоритетной задачей как государственных органов и участников экологического сообщества, так и представителей бизнес-структур. Таким методом способна стать интеграционная минерально-матричная технология (ИММ-технология), анализу экологических и экономических показателей которой посвящена данная статья.

*The search for a comprehensive approach to the issue of recycling of industrial waste, including waste oil, each year gaining more and more importance. The need for widespread adoption of environmentally effective and economically attractive method for processing waste is becoming a priority as public authorities and members of the ecological community, and representatives of business structures. One of these methods is able to become the integration mineral matrix technology (IMM-technology), analysis of environmental and economic indicators which are addressed in this article.*

**Ключевые слова:** интеграционная минерально-матричная технология, грунт укрепленный техногенный, переработка отходов, промышленные отходы, отходы бурения, СУПО-1М.

**Key words:** integration mineral-matrix technology, soil fortified industrial waste, industrial waste, drilling waste, SUPO-1M.

Последний 10-летний период методичного ужесточения политики в сфере экологического контроля и рационального природопользования показал, что недостаточно одного лишь увеличения размера штрафных санкций, введения дополнительных разрешительных документов для работы в области недропользования и развития института общественного контроля, в том числе и со стороны экспертного сообщества, за деятельностью предприя-

тий топливно-энергетического комплекса. Подобное безальтернативное «закручивание гаек», например в области добычи углеводородов, способствует постепенному и планомерному переходу отрасли переработки отходов нефтедобычи из легальной сферы в теневой сектор и, что немаловажно, оказывает стимулирующее воздействие на развитие коррупционной составляющей данного направления. Одним из наиболее перспективных способов перелома

подобной негативной тенденции, на наш взгляд, может послужить широкое внедрение такого метода переработки отходов нефтепромысла, который, с одной стороны, имел бы высокие экологические показатели, а с другой – являлся экономически привлекательным. Тем самым появилась бы возможность создания своеобразного симбиоза, при котором процесс переработки становится рентабельным бизнесом, что, в свою очередь, способствует последующему привлечению дополнительного инвестиционного капитала и в то же время находит поддержку среди представителей экологической сферы, создавая положительный имидж и повышая уровень социальной ответственности всех участников рынка добычи углеводородов.

Реализацией подобного подхода может стать применение разработанной и активно внедряемой компанией ООО «НТЦ «Технологии XXI века» (г. Санкт-Петербург) интеграционной минерально-матричной технологии (ИММ-технологии) переработки различных видов промышленных отходов, в том числе твердых, вязкопластичных и жидких отходов бурения. Данный метод построен на теории синтеза неорганических вяжущих веществ (ТСВВ) в дисперсных минеральных средах и использует свойства минеральных систем на основе глин или глинистых пород [13].

Специальным образом трансформированные алюмосиликаты этих пород в присутствии ионов щелочноземельных металлов пре-

образуются в высокодисперсную минерально-матричную систему, характеризующуюся предельным неравновесным состоянием и повышенной сорбционной емкостью. Преобразованная таким образом минеральная система согласно принципу Ле Шателье-Брауна стремится вернуться в равновесное состояние и благодаря этому претерпевает самопроизвольный естественный процесс регенерации, в ходе которого происходит синтез алюмосиликатных вяжущих комплексов. При этом в их состав вовлекаются всевозможные (органические и неорганические) химически активные экотоксиканты. Наиболее активные химические соединения, такие как комплексы тяжелых металлов, становятся центрами формирования новой равновесной структуры [3, 4].

На практике метод реализуется за счет введения в перерабатываемую массу отхода вяжущих неорганических веществ, как правило цемента, и минеральных комплексобразующих добавок (МКД), представляющих собой микрочастицы алюмосиликатных минералов, модифицированных ионами щелочноземельных металлов. Соотношение вносимых компонентов в зависимости от необходимых физико-механических свойств конечного продукта может варьироваться. Оптимальные рецептуры приведены в **табл. 1**.

В процессе реализации ИММ-технологии образуется грунт укреп-

ленный техногенный (ГУТ), являющийся экологически безопасным и пригодным для дальнейшего целевого использования строительным материалом. Получаемый материал в свежеприготовленном состоянии представляет собой гомогенную вязкопластичную медленно твердеющую смесь с влагосодержанием в пределах 40-70 % 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. С точки зрения экологических показателей ГУТ контролируется в соответствии с МУ 2.1.674-97 «Санитарно-гигиеническая оценка стройматериалов с добавлением промышленных отходов».

Внешний вид образцов ГУТ, изготовленных с использованием золошлаковых отходов ТЭЦ в рамках реализации проекта «Инженерная подготовка с рекультивацией территории квартала 16 СУН (подпорная стенка на территории между «красной линией» ул. Еремеева и стеной строящегося гаража ФСО РФ)» (г. Санкт-Петербург) и отходов бурения (буровых шламов, отработанных буровых отходов и буровых сточных вод) в рамках «Группового рабочего проекта на строительство поисково-оценочных скважин № 91, 92, 93 на Песчаноозерском нефтегазоконденсатном месторождении» (о. Колгуев), представлен на **рисунке**.

Рассмотренные в данной статье физико-механические и экологиче-

Таблица 1

Соотношение компонентов, вносимых в буровой отход для реализации ИММ-технологии

Соотношение «сухая смесь : отходы», весовые %	Отходы, весовые %			Сухая смесь, весовые % к смеси отходов		Дополнительные материалы (на 100 % смеси отходов с сухой смесью), весовые %
	БШ	ОБР	БСВ	Цемент	МКД	
100:100	100	0	0	8-20	8-20	-
100:110	100	5	5	10-22	10-22	-
100:120	100	10	10	10-25	10-25	10-15
100:130	100	15	15	12-25	12-25	15-25
100:140	100	20	20	13-28	13-28	18-30
100:180	100	40	40	15-30	15-30	20-40

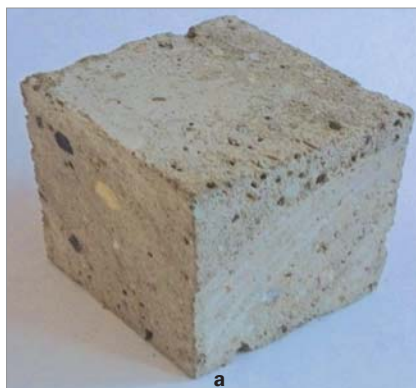


ские характеристики конечного продукта были получены в процессе исследования образцов грунта укрепленного техногенного, изготовленного с использованием буровых шламов (БШ), буровых сточных вод (БСВ) и отработанных буровых растворов (ОБР) в соответствии с РЦ 5745-005-4-58330067-2013, ТР 5745-002-2-58330067-2013 и ТУ 5745-005-58330067-2013, разработанными компанией ООО «НТЦ «Технологии XXI века» [1, 2, 6]. Исследование проводилось в аккредитованной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге» при Управлении Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербургу.

Прочность получаемого материала в проектном возрасте характеризуется маркой. Соотношения между маркой по прочности и прочностью на сжатие и растяжение при изгибе представлены в **табл. 2**.

Показатель влагоустойчивости получаемого материала составляет значение не ниже 0,7.

По морозостойкости материал подразделяют на марки: F5, F10, F15, F25. За марку по морозостой-



Образец ГУТ, изготовленный с применением золошлаковых отходов ТЭЦ (а) и отходов бурения (б)

кости принимается установленное число циклов попеременного замораживания-оттаивания, при которых снижение прочности на сжатие не превышает 25 % от нормируемой прочности в проектном возрасте (ГОСТ 23558-94). В зависимости от требований и с учетом конкретных условий эксплуатации осуществляется производство различных видов материала, представленных в **табл. 3**.

Удельная активность природных радионуклидов в получаемом материале (определялась по «Методике измерения удельной активности природных радионуклидов Цезия-

137, Стронция-90 в пробах объектов окружающей среды и продукции предприятий» ООО «НТЦ «РАДЭК») и результаты анализа на содержание подвижных форм в водной вытяжке образца приведены в **табл. 4** и **5** соответственно [7, 10].

Острая токсичность материала оценивалась на теплокровных половозрелых животных обоего пола: белых крысах массой 180-200 г, белых мышах массой 20-25 г, морских свинок массой 500-600 г, а также методами биотестирования с использованием в качестве тест-объектов дафний (*daphnia magna*) и гранулированной спермы

Таблица 2

Предел прочности различных марок грунта укрепленного техногенного

Марка по прочности	Предел прочности, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	
	на сжатие, R <sub>сж.</sub>	на растяжение при изгибе, R <sub>изгб.</sub>
M10	1,0(10)	0,2(2)
M20	2,0(20)	0,4(4)
M40	4,0(40)	0,8(8)
M60	6,0(60)	1,2(12)
M75	7,5(75)	1,5(15)
M100	10,0(100)	2,0(20)

Таблица 3

Физико-механические свойства различных видов грунта укрепленного техногенного

Область применения ГУТ	Показатели механических свойств		
	R <sub>сж.</sub> , МПа	Морозостойкость	Коэффициент фильтрации
Грунт для устройства оснований, дополнительных слоев оснований и нижних слоев покрытий автомобильных дорог и аэродромов с разработкой соответствующих конструкций	1.0-10.0	Не ниже F5	Не нормируется
Гидроизоляционный грунт для обустройства конструктивных слоев, а также геохимических барьеров	0.5-1.5	-	Не более 1·10 <sup>-5</sup> м/сутки

Таблица 4

Удельная активность природных радионуклидов в грунте укрепленном техногенном

Удельная активность, Бк/кг					Удельная эффективная активность, Бк/кг
Ra-226	Th-232	R-40	Cs-137	Sr-90	
13±4	20±5	580±100	<5	<50	90±10

Таблица 5

Содержание подвижных форм в грунте укрепленном техногенном, мг/л

№	Показатель	Экспозиция, сутки		НД на метод исследования
		1	3	
1	Медь	0,003	0,007	МУ 2.1.674-97 ГОСТ Р 51309-99
2	Цинк	0,013	0,075	
3	Свинец	<0,001	<0,001	
4	Кобальт	<0,001	<0,001	
5	Никель	0,003	0,006	
6	Марганец	0,002	0,002	

быка. Данные о токсичности конечного продукта приведены в **табл. 6** и **7** [9].

Таким образом, удельная активность природных радионуклидов и показатели острой токсичности в образцах грунта укрепленного техногенного не превышают показате-

лей гигиенических нормативов и соответствуют санитарно-эпидемиологическим требованиям, действующим на территории Российской Федерации [11, 12]. При этом показатели миграции в окружающую среду содержащихся в нем экотоксикантов значительно ниже, чем

таковые в перерабатываемом отходе. Сравнительный анализ содержания подвижных форм в водной вытяжке исходного образца отхода и образца конечного продукта представлен в **табл. 8**.

Благодаря прогнозируемым физико-механическим и санитар-

Таблица 6

Показатели острой токсичности грунта укрепленного техногенного (исследование на лабораторных животных)

Показатель	Результаты исследований	НД на метод исследования	Ед. изм.
<b>Острая токсичность:</b> – летучих компонентов при статическом ингаляционном воздействии (н.у.) в насыщающей концентрации, экспозиция 2 часа (белые мыши) – при в/ж введении (белые крысы)	– Летучие компоненты в насыщающей концентрации не оказывают раздражающего действия на слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей – DL <sub>50</sub> >5000,0	Методическое письмо «Рекомендации для предварительной оценки токсичности химических веществ ускоренным методом». Л., 1971	мг/кг
<b>Раздражающее действие:</b> 1) на кожу (белые крысы) – однократно – повторно 2) на слизистые оболочки глаз (морские свинки)	0 0 Отсутствие раздражения	МУ № 2102-79	Баллы

Таблица 7

Показатели острой токсичности грунта укрепленного техногенного (биотестирование)

Показатель	Результаты исследований	НД на метод исследования	Ед. изм.
Чувствительность гранулированной спермы быка Эффективное разведение вытяжки при кратности разведения: 1 (без разведения)	It / индекс токсичности/  91,3	ФР.1.31.2009.06301 I <sub>t</sub> R≥80	%
Чувствительность дафний к вытяжке при кратности разведения: 1 (без разведения)	Гибель дафний 24 часа    48 часов    72 часа    96 часов 0            0            50          100	ФР.1.39.2007.03222 L<10	%
< 100	0            0            0            0		
Контроль	0            0            0            0		



но-гигиеническим свойствам грунт укрепленный техногенный может применяться в процессе производства следующих видов работ:

- устройство конструктивных слоев оснований автомобильных дорог и промышленных площадок, в том числе кустовых (в соответствии с ГОСТ 23558-94, СНиП 2.05.02-85, СНиП 3.06.03-85, СНиП 3.02.01-87);
- устройство гидроизоляционных конструктивных слоев, а также техногенных геохимических барьеров (например при рекультивации шламохранилищ, оборудовании и рекультивации полигонов для хранения отходов);
- сооружение подпорных грунтовыми конструкциями, обустройство узлов сопряжения бентонитового экрана с бетонными конструкциями и коммуникациями;
- рекультивация ранее образованных полигонов промышленных и бытовых отходов;
- формирование тела обваловок;
- устройство тела дамб;
- укрыв полигонов и нарушенных земель для планировочных и противоэрозионных целей;
- устройство конструктивных слоев промышленных площадок, площадок для складирования.

Экономический эффект от применения ИММ-технологии предлагается оценить на примере создания участка утилизации бурового шлама. В качестве технологического оборудования используется мобильная установка переработки отходов бурения СУПО-1М. Данная установка является блочно-модуль-

ной, состоит из четырех компоновочных узлов-блоков, имеющих габариты стандартных 20/40-футовых морских контейнеров, два из которых являются основаниями, выполняющими вспомогательную функцию, а два – рабочими блоками. В первом модуле производится растарка, временное хранение, дозирование и предварительное смешивание сухих компонентов, в том числе комплексообразователь, а во втором – непосредственное перемешивание компонентов с отходом и выгрузка конечного материала. Блоки установки доставляются к месту размещения полностью готовыми к использованию со смонтированным в них технологическим оборудованием, что позволяет минимизировать логистические издержки, сократить временные затраты на проведение монтажных и пусконаладочных работ, оптимизировать процесс передислокации установки на новый участок эксплуатации. Установка оборудована контрольно-измерительными приборами и оснащена современными системами автоматизации, в том числе предусмотрен режим дистанционного контроля параметров и управление работой установки посредством выносного (за пределы 5-метровой зоны) пульта управления [5].

Принятые технологические и конструктивные решения позволяют использовать СУПО-1М непосредственно на буровых площадках с обеспечением безамбарного способа бурения, при рекультивации шламовых амбаров, причем как

вновь образованных, так и уже накопленных за предшествующие годы, а также на территориях с ограниченной транспортной доступностью, в так называемых полевых условиях, где затруднительно или экономически неоправданно создание стационарных участков либо цехов утилизации отходов.

Основные характеристики рассматриваемого объекта при финансировании затратной части в виде инвестиций:

- Срок реализации проекта по закупке и установке оборудования – 8 месяцев.
- Расчетная дата начала проекта – 1 ноября 2015 г.
- Плановый запуск производства – 1 апреля 2016 г.
- Проект рассчитан на 14 месяцев.
- Объем привлекаемых инвестиций – 14 070 тыс. руб.
- Период окупаемости (РВ) – 8 месяцев.
- Чистый приведенный доход (NPV) – 12 081,4 тыс. руб.
- Индекс прибыльности (PI) – 1,75.
- Средняя норма рентабельности (ARR) – 155,6 %.

Для проведения экономических расчетов был сформирован предварительный план утилизации бурового шлама. Производительность установки СУПО-1М по количеству произведенного ГУТ составляет 6 м<sup>3</sup>/ч (12 т/час). Расход цемента и МКД на 1 т – 100 и 150 кг соответственно. Количественное соотношение бурового шлама и препаратов в реакции образования ГУТ составляет 1:3. Соответственно

Таблица 8

Сравнительный анализ содержания подвижных форм в исходном отходе и конечном материале [7, 8]

Показатель	Ед. изм.	Исходный отход	НД на метод исследования	ГУТ	НД на метод исследования
Медь	мг/кг	1,1	М-МВИ-80-2008	0,004	МУ 2.1.674-97
Цинк		9,1		0,039	
Свинец		65,6		0,001	
Кобальт		1		0,001	
Никель		1,2		0,003	
Марганец		77,9		0,002	



производительность СУПО-1М по количеству утилизируемого бурового шлама составит 9 т/ч.

Источник поступления бурового шлама – выбуренная порода. Состав буровых шламов: 30-70 % – влажность; 30-70 % – выбуренная порода; 2 % – нефть.

С учетом низких среднегодовых температур нефтедобывающих регионов России участок будет работать с апреля по октябрь, или 214 дней, что позволит перерабатывать 46,2 тыс. т буровых шламов в год. План утилизации бурового шлама представлен в **табл. 9**.

Стоимость услуги по переработке бурового шлама с использованием данной технологии составляет 3 500 руб./т с учетом НДС. Доходная часть реализации услуг составит 215 712 тыс. руб. Ее распределение в количественном выражении в течение года представлено в **табл. 10**.

Финансирование проекта осуществляется путем оформления кредитной линии на условиях возвратности и доходности денежных средств, т.е. предполагается получение денег с последующим возвратом и выплатой процентов по кредиту. Кредитным обеспечением могут выступать текущие активы, а в некоторых случаях – планируемые к закупке активы производства по утилизации шлама. Кредитование планируется осуществить под 13,31 % годовых (согласно средневзвешенным процентным ставкам по кредитам, предоставленным кредитными органи-

зациями нефинансовым организациям, в рублях) на срок 13 месяцев. Получение кредита общей суммой 14,07 млн руб. осуществляется в два этапа:

- 1.11.2015 – 6,42 млн руб. – предоплата при заключении договора приобретения установки СУПО-1М;
- 27.01.2016 – 7,65 млн руб. – окончательная оплата оборудования и прочих расходов.

Для данного проекта ставка дисконтирования рассчитывалась по модели CAPM, наиболее адекватной для проектов, не использующих эмиссию ценных бумаг, и была определена на уровне 10 %.

#### Основные экономические показатели проекта

Период окупаемости, РВ (Paybackperiod), – время, требуемое для покрытия начальных инвестиций за счет чистого денежного потока, генерируемого инвестиционным проектом. В данном случае период окупаемости меньше срока проекта (7 месяцев) и составляет 8 месяцев.

Дисконтированный период окупаемости, DPB (Discountedpaybackperiod), рассчитывается аналогично РВ, однако в этом случае чистый денежный поток дисконтируется. Дисконтированный период окупаемости составляет 8 месяцев.

Чистый приведенный доход, NPV (Netpresentvalue), представляет абсолютную величину дохода от реализации проекта с учетом ожидаемого изменения стоимости денег. NPV проекта положительный и равен 12 081,38 тыс. руб.

Индекс прибыльности, PI (Profitabilityindex), демонстрирует относительную величину доходности проекта. Он определяет сумму прибыли на единицу инвестированных средств. Индекс PI проекта больше единицы: 1,75.

Средняя норма рентабельности, ARR (Averagerateofreturn), представляет доходность проекта как соотношение между среднегодовыми поступлениями от его реализации и величиной начальных инвестиций с PI проекта (больше единицы: 1,75). Показатель ARR интерпретируется как средний годовой доход, который можно получить от реализации проекта. В нашем случае данный показатель равен 155,6 %.

Внутренняя норма рентабельности проекта, IRR (Internalrateofreturn), характеризуется значением 284,5 %.

Точки безубыточности проекта определены в соответствии с планом реализации услуг и представлены в **табл. 11**.

Таким образом, рассмотренная ИММ-технология благодаря своей исключительной экологической эффективности способна комплексно решать задачи утилизации как вновь образующихся, так и уже накопленных промышленных отходов различного происхождения, в том числе и отходов нефтедобычи. Анализ экономических показателей проектов, реализующих данный метод, позволяет также сделать вывод о его экономической привлекательности. При величине платы за

Таблица 9

Объем утилизируемого бурового шлама на 2016 г. (по месяцам), т

Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
6 480	6 696	6 480	6 696	6 696	6 480	6 696

Таблица 10

Распределение доходной части проекта реализации услуг по переработке бурового шлама в 2016 г., тыс. руб.

Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
30 240	31 248	30 240	31 248	31 248	30 240	31 248



утилизацию бурового шлама в размере 3500 руб./т использование интеграционной минерально-матричной технологии обеспечивает непродолжительный период окупаемости участка перера-

ботки отходов и позволяет эксплуатирующей организации получать прибыль. Широкое внедрение описанного метода способно не только привлечь новых игроков и дополнительные инвести-

ции в сферу обращения с промышленными отходами, но и сохранить уникальные природные экосистемы нефтепромысловых территорий Российской Федерации.

Таблица 11

**Точки безубыточности проекта**

С 01.01.2016, шаг – год	Объем продаж, т	Постоянные издержки, тыс. руб.	Вклад в покрытие, тыс. руб.	Точка безубыт., т	Точка безубыт., тыс. руб.
Услуги по утилизации бурового шлама	46 224	18 011,1	24 728,6	33 667,24	99 860,5
Продукт ГУТ	61 632	4 116,8	31 338,3	8 096,4	4 116,8
<b>Итого</b>	<b>107 856</b>	<b>23 998,6</b>	<b>56 066,9</b>	<b>41763,6</b>	<b>72 099,6</b>

**Литература**

1. Грунт укрепленный техногенный (ГУТ), производимый с использованием буровых шламов, отработанных буровых растворов и буровых сточных вод. Технические условия ТУ 5745-005-58330067-2013 // ООО «НТЦ «Технологии XXI века», 2013.

2. Грунт укрепленный техногенный, производимый с использованием буровых шламов, отработанных буровых растворов и буровых сточных вод. Рецепт РЦ 5745-005/4-58330667-2013 // ООО «НТЦ «Технологии XXI века», 2013.

3. Кнатько В.М., Кнатько М.В., Щербакова Е.В., Гончаров А.В. Патент № 2199569 (Российская Федерация). Смесь для обезвреживания и литификации буровых шламов и нефтезагрязненных грунтов, 2003.

4. Кнатько В.М., Кнатько М.В., Щербакова Е.В., Гончаров А.В., Гончарова Н.В. Патент № 2184095 (Российская Федерация). Смесь для обезвреживания и литификации бытовых и промышленных отходов, донных осадков, шламов и нефтезагрязненных грунтов, 2001.

5. Кнатько М.В., Кнатько В.М., Подлипский И.И., В.Ю. Камышев. Утилизация нефтяных и нефтехимических отходов в производстве продукции путем оптимального сочетания различных видов отходов // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – №10.

6. Переработка отходов бурения (буровой шлам, буровой раствор и буровые сточные воды) в грунт укрепленный техногенный. Технологический регламент ТР-5745-002/2-58330067-2013 // ООО «НТЦ «Технологии XXI века», 2013.

7. Протокол лабораторных исследований № 507/169 от 31.01.2014 // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», 2014.

8. Протокол лабораторных исследований № 8210/55 от 04.12.2013 // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», 2013.

9. Протокол лабораторных исследований № 8211/1452 от 09.12.2013 // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», 2013.

10. Протокол радиологических испытаний № 8211/0873/13 от 12.12.2013 // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», 2013.

11. Санитарно-эпидемиологическое заключение № 78.01.06.574.Т.338 от 25.02.2014 г. // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», 2014.

12. Санитарно-эпидемиологическое заключение № 78.01.06-4/221 от 26.02.2014 // ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», 2014.

13. Кнатько В.М. Теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах. – Л.: ЛГУ, 1989. – 150 с.