

К.Л. ЧЕРТЕС**О.В. ТУПИЦЫНА****В.Н. ПЫСТИН****А.М. ШТЕРЕНБЕРГ****ПРОИЗВОДСТВО РЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА БАЗЕ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ШЛАМОНАКОПИТЕЛЕЙ***ON PRODUCTION OF RECULTIVATING MATERIALS
ON THE BASIS OF LIQUIDATED SLUDGE STORAGE COLLECTORS*

Рассмотрена возможность применения шламов водного хозяйства для производства грунтоподобных рекультивационных материалов. Предложено в качестве основного источника сырья использовать шламонакопители. Приведен пример оценки накопителей шламов водного хозяйства при помощи цифровых матриц состояния. Представлено конструктивно-технологическое оформление комплекса производства рекультивационных материалов на базе ликвидируемого шламонакопителя. Предложено расположение ряда сооружений комплекса на укрепленной поверхности накопителя.

Ключевые слова: *шламы, водное хозяйство, шламонакопители, грунтоподобный материал, цифровые матрицы, геоконтейнерное обезвоживание, минерализация, упрочнение.*

Шламы водного хозяйства ряда промышленных предприятий (очистных сооружений, ТЭЦ, фабрик мокрого обогащения сырья и др.) являются сырьем для производства техногенных грунтов [1]. Геоэкологическое и геохимическое подобие данных шламов с природными грунтами обусловлено генетическим сродством ряда входящих в них компонентов: соединений кремния, кальция, магния, алюминия, а также органических веществ. Данные компоненты в совокупности с мелкодисперсным составом шламов способствуют появлению в агрегированных образцах таких свойств, как пластичность, адгезия и других характеристик грунтовых материалов, постепенно достигающих значений своих природных аналогов.

Однако шламы в исходном состоянии невозможно использовать в качестве материалов экранирования, вертикальной планировки, рекультивации

The paper deals with suitability of water industry sludge for production of soil-like recultivating materials. It has been proposed to use sludge storage collectors as the main source of raw materials. An example of estimating water industry sludge storage collectors with the help of digital state matrix has been given. The paper presents structural and technological design of complex production of recultivating materials on the basis of the liquidated sludge storage collector. It has been proposed to locate the complex structures on the reinforced surface of the collector.

Key words: *sludge, water industry, sludge storage collectors, soil-like material, digital matrix, dehydration of geocontainers, mineralization, strengthening.*

отработанных карьеров, а также для оснований сооружений пониженного уровня ответственности из-за высокой влажности и наличия легкоразлагаемой органики [2-5].

Основными методами конверсии шламов в грунтоподобные рекультивационные материалы выступают обезвоживание и слоевая минерализация [6]. Предпочтительно использование таких методов непосредственно в местах генерации шламов (водоподготовительных установках, насосно-фильтровальных станциях и др.). Но в настоящее время на большинстве предприятий узлы обработки шламов отсутствуют. В связи с этим шламы направляют в накопители для длительного размещения или захоронения [7,8]. Только в Самарской области сформировано более 30 крупных накопителей с общим объемом шламовых тел более 6 млн м³.

Шламовые тела накопителей отрицательно воздействуют на все компоненты окружающей среды, а из использования отторгаются сотни гектаров нарушенных территорий.

Одним из направлений освоения накопителей выступает создание комплексов производства рекультивационных материалов [9]. Источником сырья для их производства выступает собственно шламовое тело.

Долговременное пребывание шлама в накопителе сопровождается процессами седиментации с расслоением фаз и частичной минерализацией легко разлагаемой органики. Однако даже после длительного срока пребывания, значения влажности и содержания беззольного вещества шламовых образцов все еще не отвечают требованиям к грунтоподобному сырью. Для достижения механического подобия с восстанавливаемой геосредой необходима обработка шламового тела с использованием технологий обезвоживания, минерализации и, при необходимости, упрочнения.

Шламонакопители, как правило, располагаются в стесненных земельных условиях. Отдельные объекты удалены от развитой инфраструктуры предприятий – источников образования шламов. Поэтому использование капитальных сооружений

механического обезвоживания и аппаратного компостирования шламового сырья нерационально. Решением может выступить создание комплексов обработки шламов непосредственно в границах накопителя с применением малозатратных методов. К ним относят сочетание авторских технологий геоконтейнерной обработки, слоевой минерализации отходов, промежуточного экранирования выемок, а также использование существующего резерва станций аэрации для обработки шламового фильтрата [6, 10-12]. Использование данных методов было реализовано в проекте рекультивации шламонакопителя ТЭЦ ОАО «Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод».

Основное функциональное назначение объекта – прием и хранение шламов водного хозяйства. Сооружение было введено в эксплуатацию в 1980 году. Вместимость сооружения для расчетного срока эксплуатации объекта составила 70 тыс.м³. План накопителя представлен на рис. 1.

Изыскания позволили установить, что шламовое тело имеет слоисто-линзовую структуру, которая образовалась в результате медленного расслоения шламов водного хозяйства, многолетнего обводнения толщи осадками и новыми порциями жидкого шлама, а также выделить неоднородные фрагменты, подлежащие дифференцированной обработке (рис. 2).

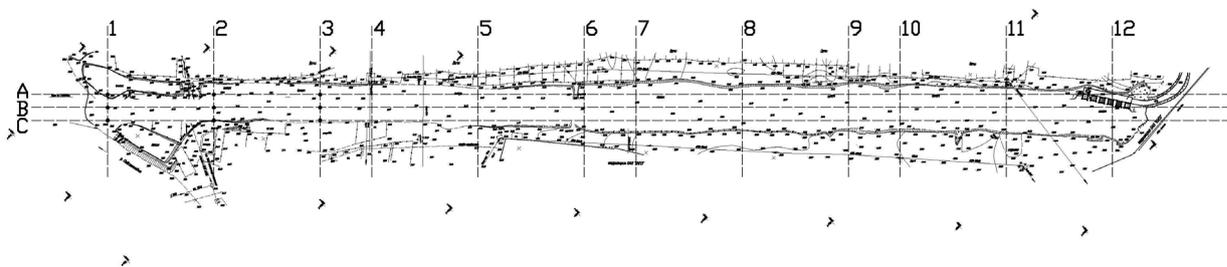


Рис. 1. Топографический план шламонакопителя ТЭЦ



Рис. 2. Продольный разрез накопителя

Цифровая матрица влажности шламового тела

Глубина, м	Пространственный элемент	Номер скважины											
		В.1	В.2	В.3	В.4	В.5	В.6	В.7	В.8	В.9	В.10	В.11	В.12
Влажность, %													
0,0	Затвердевший поверхностный слой	32,2	27,6	33,1	29,6	34,9	34,5	30,1	30,5	26,3	30,7	29,4	25,4
0,5	Пастообразный слой	57,0	58,4	59,0	71,3	73,1	41,4	30,1	71,4	37,9	35,8	33,7	30,6
1,0	Линза жидкого шлама	91,1	81,7	90,3	77,6	93,3	56,8	58,4	87,7	71,1	44,1	38,3	35,4
1,5		91,4	89,8	90,6	92,7	90,2	87,5	70,2	85,7	80,6	55,9	39,2	46,2
2,0	Донный шлам	70,7	90,3	73,5	92,5	89,0	85,6	93,3	96,5	88,3	57,1	51,4	57,2
2,5		65,5	86,0	68,3	94,9	93,6	68,2	87,5	67,8	66,7	69,8	57,8	62,2
3,0	Геосреда		69,5	64,4	93,4	71,3	57,5	85,6	51,2	57,3			
3,5			66,9	66,4	68,1	63,3	53,9	66,1	54,9				
4,0			58,8	62,1	57,9	58,2	55,3	58,7					
4,5						56,1	59,7						
5,0													

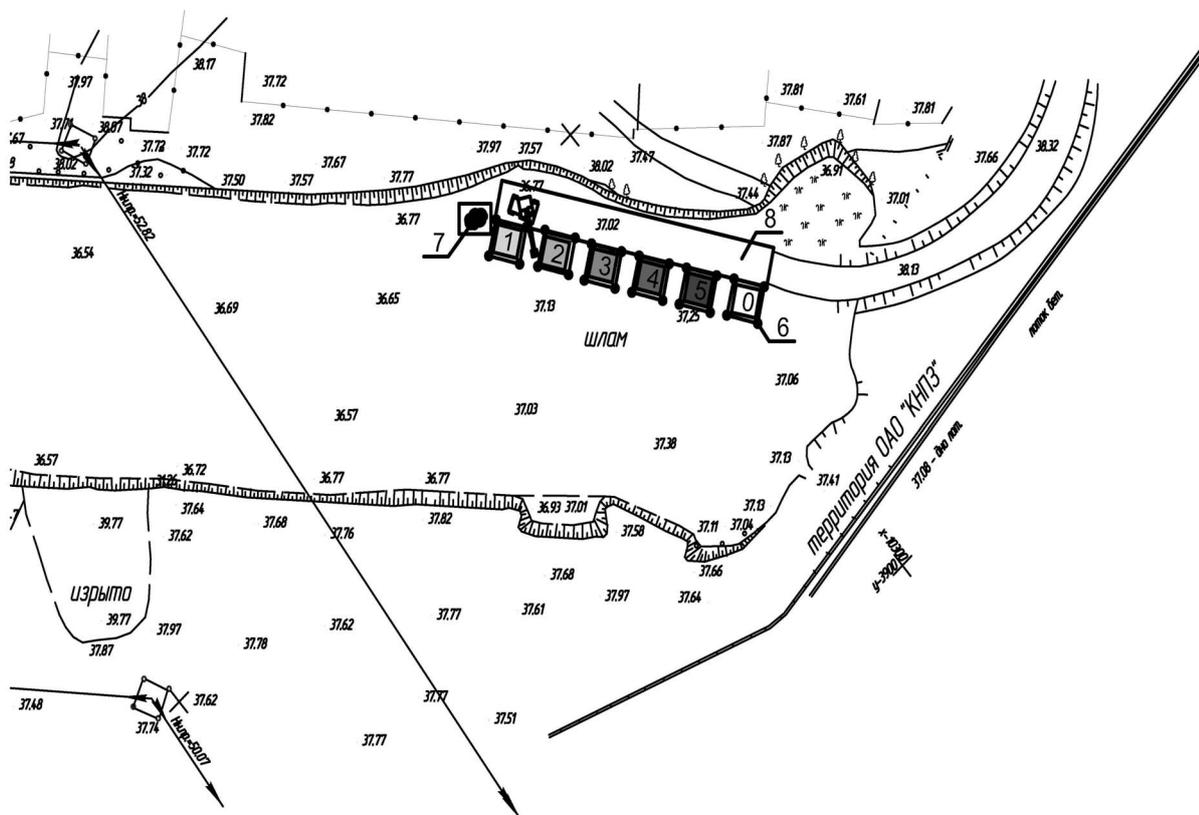


Рис. 3. Схема опытно-полевой площадки

Условные обозначения: 0 – контрольный участок, 1-5 делянки с внесением золошлаков ТЭЦ в массовых соотношениях 1:0,1; 1:0,2; 1:0,3; 1:0,5; 1:1 соответственно; 6 – граница опытной площадки; 7 – навал золошлаковых отходов, 8 – технологическая площадка для работы экскаватора

Интерпретация шламового тела в виде цифровых матриц состояния (табл. 1) позволила выделить в шламовом теле четыре пространственных элемента, дифференцированных по структуре и составу вещества. В таблице представлен пример цифровой матрицы неоднородности влажности элементов шламового тела.

Для каждого выделенного фрагмента предлагается индивидуальная технология обработки. Так, фрагменты с повышенной влажностью направляются в геоконтейнер для обезвоживания. Слойные элементы с избыточной органикой извлекаются из выемки и подвергаются штабельно-слоевой минерализации в контролируемых условиях. Поверхность шлама с низкой несущей способностью упрочняется путем создания многофункциональных геоармирующих экранов или введением скелетообразующих добавок [6, 11, 12].

В рамках исследования также была выполнена проработка основных технических решений по строительству комплекса производства рекультивационных материалов из шламовых отходов (далее – комплекс) непосредственно на поверхности шламонакопителя. Для этого шламовое тело должно быть изолировано водонепроницаемой мембраной для предотвращения обводнения шламового тела и вторичного загрязнения стоками с функциональных площадок комплекса.

При проведении работ по рекультивации накопителя на участках с толщиной шлама более двух метров и значением модуля деформации E_p менее 1-3 МПа происходили порывы изолирующей мембраны при передвижении строительной техники. Для минимизации просадки шламового тела в период строительства и эксплуатации комплекса не-

обходимо усиление несущей способности шламов. С целью изучения упрочнения поверхности шламового тела на участках, перспективных для расположения функциональных площадок комплекса, проведен долгосрочный промышленный эксперимент.

Поверхность шламового тела была поделена на пять опытных участков со сходными геомеханическими характеристиками. На каждом участке шлам смешивался с упрочняющей добавкой – золошлаковыми отходами ТЭЦ, в различных массовых соотношениях (рис. 3).

В течение 5 лет (2011-2015 гг.) два раза в год производилось статическое зондирование, а также ежегодный отбор проб для лабораторного исследования геомеханических характеристик шламового композита (рис. 4).

Отобранные пробы и монолиты подвергались лабораторному определению основных геомеханических характеристик грунтов: влажности W , %; пористости n , %; плотности сухого грунта ρ_d , т/м³; плотности частиц ρ_{ch} , т/м³; числа пластичности I ; модуля деформации E_p , МПа; сопротивления сдвигу τ , МПа; адгезионной прочности A , МПа. Значения E_p и τ также определялись при помощи статического зондирования с целью сокращения длительных лабораторных исследований. На рис. 5, а и 5, б представлены графики изменения модуля деформации шламового тела как показателя, описывающего осадку массива под нагрузкой.

Из графиков видно, что в течение полутора-двух лет шлам приобретает прочность в пределах до 7 МПа, что соответствует 80-90 % от максимального модуля деформации, приобретенного за пять лет наблюдения. Причем максимальные значения наблюдались на опытных площадках с внесением зо-



Рис. 4. Отбор образцов шлама:
а – колонковое бурение; б – монолиты, отобранные с опытных делянок 1-5

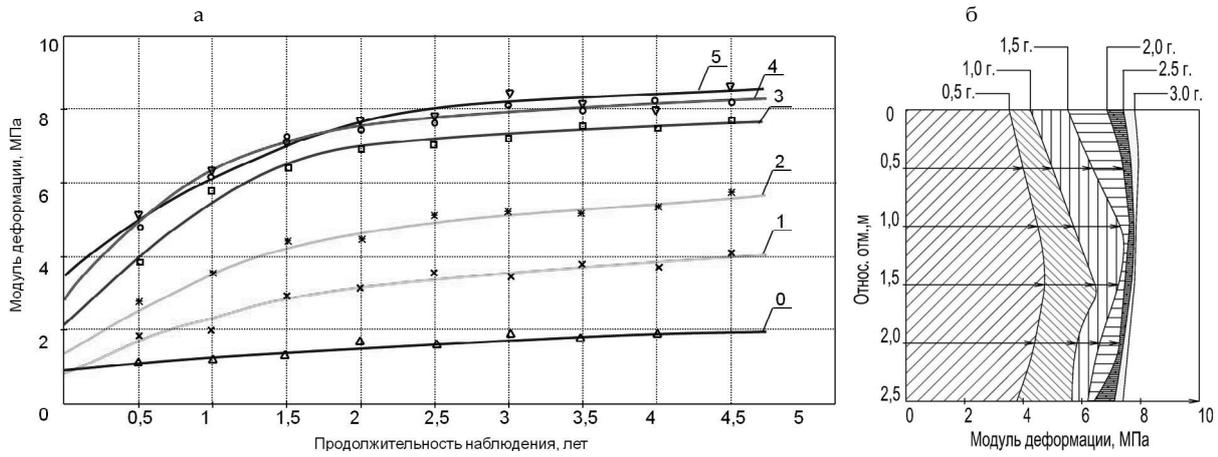
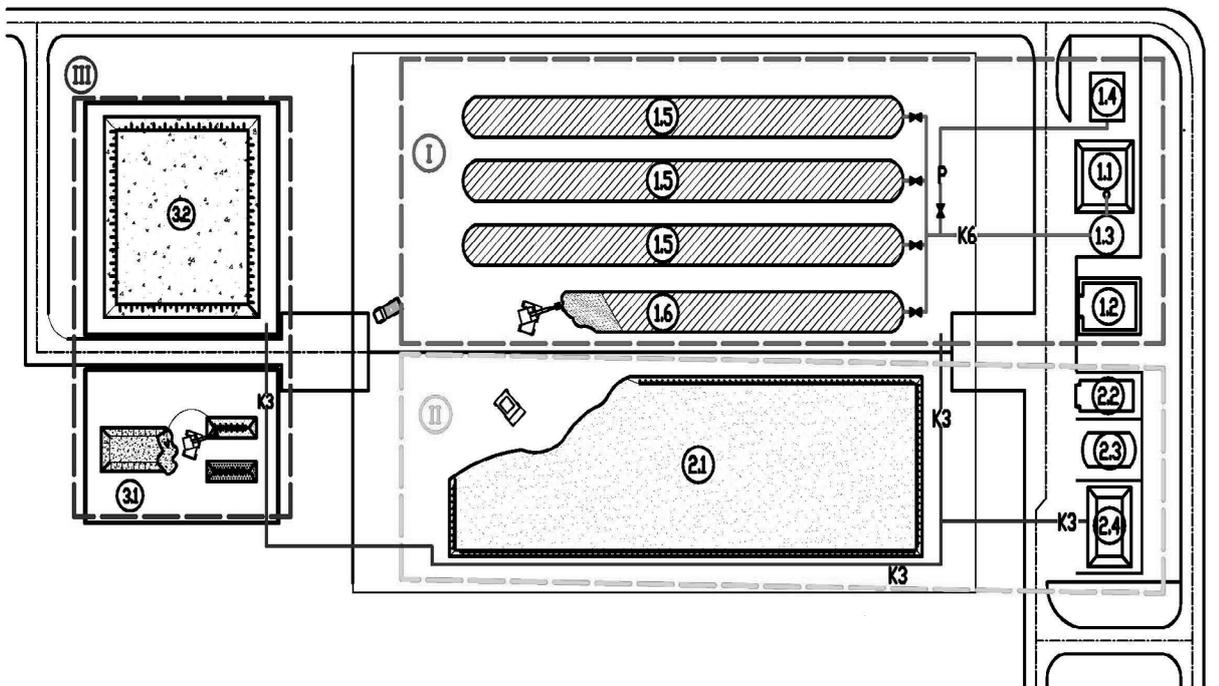


Рис. 5. Графики изменения прочностных характеристик в зависимости от концентрации упрочняющей добавки (а) и глубины залегания (б)



- | Функциональное зонирование: | Линейные сооружения и сети: | Техника: |
|---|---|--|
| <p>Ⓘ — Зона обезвоживания</p> <p>Ⓜ — Зона минерализации</p> <p>Ⓢ — Зона упрочнения, хранения и отгрузки</p> | <p>— К6 — Трубопровод подачи шлама на обезвоживание</p> <p>— Р — Подача реагента</p> <p>— К3 — Канализация сбора фильтрата и механически загрязненного поверхностного стока</p> | <p>⚒ — Экскаватор</p> <p>🚚 — Самосвал</p> <p>🏗 — Погрузчик</p> |

Рис. 6. Технологический план комплекса производства рекультивационных материалов в границах ликвидируемого шламонакопителя ОАО «Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод»

лошлаков в массовых соотношениях 1:0,3 - 1:1. Данные значения модуля деформации были получены в естественных условиях без дополнительного уплотнения. При необходимости получения высоких значений прочностных характеристик, непосредственно на месте использования грунтоподобного материала, возможно применение дорожно-строительной техники.

На комплексе предполагается переработка как свежих отходов водного хозяйства, так и уже накопленных в шламонакопителе. Технологический план комплекса, а также его позиционирование в границах отвода ликвидируемого объекта представлены на рис. 6.

Обводненный шлам из накопителя доставляют на карту 1.1, куда также вносится кондиционирующая добавка с площадки 1.2. Шлам при помощи насосной станции 1.3 подается в геотекстильный контейнер 1.5 для гравитационного обезвоживания. При необходимости в шлам вносится коагулянт, приготавливаемый в модульном реагентном хозяйстве 1.4. После обработки контейнер 1.6 вскрывается и обезвоженный шлам перемещается на площадку слоевой минерализации 2.1. Также на данную площадку доставляются шламы с повышенным содержанием беззольного вещества с карты 2.2. На площадке слоевой минерализации шлам формируется в слой толщиной до 0,4-0,6 м для обеспечения свободного доступа кислорода. Одновременно в слой вносится шлам оборотного водоснабжения (ШОВ), выполняющий функции источника редуцирующей микрофлоры. Промежуточное накопление ШОВ предусмотрено на карте 2.3. В периметральной полосе накопителя запроектирован пруд-испаритель фильтрата и загрязненного поверхностного стока 2.4. Избыток стока по мере необходимости направляется на очистные сооружения предприятия.

Обезвоженный и минерализованный шлам направляется на площадку упрочнения 3.1, где смешивается со скелетообразующими добавками. В качестве добавок используются твердые мелкодисперсные отходы производств, сопутствующих водному хозяйству предприятия: золошлаки, а также отходы известняка и доломита. Готовый продукт хранится на площадке 3.2, откуда отгружается на рекультивацию как самой выемки, так и нарушенных земель в техногенном ареале накопителя.

Вывод. Создание комплекса производства грунтоподобных рекультивационных материалов на базе шламонакопителей способствует минимизации

негативного воздействия на окружающую среду, сокращению использования природных грунтов, а также снижению расходов, связанных с размещением отходов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тупицына О.В., Ярыгина А.А., Сафонова Н.А., Пыстин В.Н., Савельев А.А., Чертес К.Л. Направления использования отходов ТЭК с получением рекультивационных материалов // *Экология и промышленность России*. 2014. №6. С.13-17.
2. Быков Д.Е., Тупицына О.В., Гладышев Н.Г., Зеленцов Д.В., Гвоздева Н.В., Самарина О.А., Цимбалюк А.Е., Чертес К.Л. Комплекс биодеструкции нефтеотходов // *Экология и промышленность России*. 2011. № 3. С. 33-34.
3. Тупицына О.В., Самарина О.А., Бальзанников М.И., Андреев С.Ю., Чертес К.Л. Ликвидации накопителей отходов нефтегазового комплекса с использованием станций аэрации [Электронный ресурс] // *Нефтегазовое дело: электронный науч. журнал*. 2012. № 4. С. 223-230. – Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/Tupitsyna/Tupitsyna_1.pdf (дата обращения: 16.03.2015).
4. Тупицына О.В., Сафонова Н.А., Чертес К.Л., Штеренберг А.М., Ярыгина А.А., Пыстин В.Н. Комплексная система обработки и утилизации буровых шламов при помощи фильтрующих оболочек // *Экология и промышленность России*. 2013, июль. С. 11-17.
5. Чертес К.Л., Быков Д.Е., Тупицына О.В. и др. Интенсивная биотермическая обработка шламовых отходов нефтяного комплекса // *Экология и промышленность России*. 2010, март. С. 36-39.
6. Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н. Геоэкологическая оценка накопителей шламов водного хозяйства и разработка технологий их ликвидации // *Вестник МГСУ*. 2015. № 2. С. 110-129.
7. Review of Mine Drainage Treatment and Sludge Management Operations Project 603054, REPORT CANMET-MMSL 10-058(CR). Version-March 2013.
8. Степанов С.В., Стрелков А.К., Дубман И.С., Беляков А.В. Опыт проектирования сооружений биологической очистки сточных вод НПЗ по биомембранной технологии // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й Всерос. научно-технической конференции / СГАСУ*. Самара, 2013. С. 186-189.
9. Губанов Л.Н., Зверева А.Ю., Зверева В.И. Рециклирование материалов из твердых бытовых отходов и осадков сточных вод // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура*. 2013. № 2(10). С. 61-64.
10. Патент № 85472 РФ, МПК С 02 F 3/00; С 02 F 3/02. Реактор доочистки сточных вод / Тупицына О.В., Чертес К.Л., Быков Д.Е., Радомский В.М., Самарина О.А. № 2009100352/22; заявл. 11.01.09; опубл. 10.08.09.
11. Патент № 2249580 РФ. Способ обработки и утилизации органосодержащих отходов / Чертес К.Л., Быков Д.Е., Тупицына О.В., Радомский В.М., Седогин М.П., Ендуреева Н.Н. Заявл. 2003101872/12, 23.01.2003; опубл. 10.04.2005, Бюл. № 10.

12. Патент 2318619 РФ, МПК В 09 В 1/00. Способ образования покрытий на накопителях отходов / *Тупицына О.В., Чертес К.Л., Быков Д.Е., Радомский В.М., Колесников А.Г., Михайлов Е.В.* № 2006124064/03; заявл. 04.07.06; опубл. 10.03.08.

© **Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Штеренберг А.М., 2015**

Об авторах:

ЧЕРТЕС Константин Львович

доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. (846)337-15-97
E-mail: chertes2007@yandex.ru

ТУПИЦЫНА Ольга Владимировна

доктор технических наук, доцент кафедры химической технологии и промышленной экологии Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. 8-927-687-06-03
E-mail: olgatupicyna@yandex.ru

ПЫСТИН Виталий Николаевич

аспирант кафедры химической технологии и промышленной экологии Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. 8-917-145-29-17
E-mail: vitaliy.pystin@yandex.ru

ШТЕРЕНБЕРГ Александр Моисеевич

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики и физики нефтегазового производства Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. 8-846-278-44-90
E-mail: physics@samgtu.ru

CHERTES Konstantin

Doctor of Engineering Science, Professor of the Chemical Technology and Industrial Ecology Department Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St, 244, tel. (846)337-15-97
E-mail: chertes2007@yandex.ru

TUPICYNA Olga

Doctor of Engineering Science, Associate Professor of the Chemical Technology and Industrial Ecology Department Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244, tel. 8-927-687-06-03
E-mail: olgatupicyna@yandex.ru

PYSTIN Vitaly

Post-Graduate student of Chemical Technology and Industrial Ecology Department Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244, tel. 8-917-145-29-17
E-mail: vitaliy.pystin@yandex.ru

SHTERENBERG Alexander

Doctor of the Physics and Mathematics, Professor, Head of General Physics and Physics of Oil and Gas Production Department Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya St., 244, tel. 8-846-278-44-90
E-mail: physics@samgtu.ru

Для цитирования: *Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Штеренберг А.М.* Производство рекультивационных материалов на базе ликвидируемых шламонакопителей // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 4 (21). С. 78-84.

For citation: *Chertes K.L., Tupitsina O.V., Pystin V.N., Shterenberg A.M.* On production of recultivating materials on the basis of liquidated sludge storage collectors // Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture. 2015. № 4 (21). Pp. 78-84.