УДК 504.06

К.Л. Чертес, О.В. Тупицына, В.Н. Пыстин, В.В. Ермаков, Е.В. Раменская, А.М. Штеренберг

ФГБОУ ВПО «СамГТУ»

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОСВОЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ШЛАМОВ ЖКХ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ МНОГОМЕРНЫХ ДАННЫХ

Рассмотрены основные характеристики накопителей шламов жилищно-коммунального хозяйства с позиции их целевого освоения. Представлена система оценки состояния шламонакопителей при помощи анализа многомерных данных. Рассматриваемые объекты размещения отходов были классифицированы на три группы с позиции возможности и целесообразности их ликвидации. Приведен пример цифровых матриц состояния накопителей отходов. Представлено конструктивно-технологическое оформление комплекса производства рекультивационных материалов.

Ключевые слова: шламы, жилищно-коммунальное хозяйство, анализ многомерных данных, материал грунтоподобный, рекультивация, обезвоживание геоконтейнерное, минерализация, упрочнение.

Деятельность жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) приводит к образованию крупнотоннажных отходов: осадков сооружений водоподготовки и очистки сточных вод, шламов котельных, золошлаков ТЭЦ, шламов оборотного водоснабжения. Известные способы утилизации данных отходов связаны с производством строительных материалов и вторичных реагентов для очистки сточных вод [1—20]. Объемы образования шламов, в большинстве случаев, превосходят региональную потребность в сырье для производства местных строительных материалов или коагулянтов. Кроме того, по качеству шламы как техногенное сырье, не могут конкурировать со своими природными аналогами [21, 22]. Наиболее полная утилизация шламов ЖКХ возможна путем их переработки в грунтоподобные рекультивационные материалы (ГРМ). Особенно это актуально для плотно застроенных градопромышленных агломераций, а также регионов Нечерноземья России, где имеется дефицит природных почв.

Перед утилизацией в ГРМ шламы должны подвергаться специальной обработке. Она направлена на доведение состава и свойств шламов до требований, предъявляемых к грунтам обратной засыпки, технического и биологического экранирования нарушенных земель, а в отдельных случаях и к грунтовым основаниям для строительства объектов пониженного уровня ответственности[1].

В настоящее время шламы ЖКХ в подавляющем большинстве направляются в накопители. Данные объекты отторгают из использования значительные земельные территории. Кроме того, шламонакопители отрицательно воздействуют на все компоненты геосреды: почву, грунты зоны аэрации, подземные воды, ландшафты. В связи с этим актуальна рекультивация накопителей с последующим хозяйственным использованием восстановленных земель. При

[1] СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01—83. М. : Минрегион России, 2011.

© Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Ермаков В.В., Раменская Е.В., Штеренберг А.М., 2015

этом шламы должны подвергаться предварительной обработке для снижения объемов и обезвреживания.

Наиболее распространенными методами обработки шламов ЖКХ выступают кондиционирование, обезвоживание, минерализация, упрочнение с введением скелетообразующих добавок и др. [23, 24].

Основной идеей работы выступает возможность освоения нарушенных шламами территорий под комплексы производства ГРМ с использованием малозатратных методов обработки отходов непосредственно на территории накопителя.

Нарушенная шламонакопителем территория представляет собой природно-техногенную систему (ПТС). Данная ПТС в общем виде включает два базовых элемента: шламовое тело и подшламовую геосреду [25, 26]. На практике оба базовых элемента содержат множество слоевых и очаговых фрагментов, неоднородных по влажности, зольности, плотности и прочности. В силу ряда причин в базовых элементах ПТС могут содержаться соединения, не свойственные для шламов ЖКХ: нефтепродукты, тяжелые металлы, трудноокисляемая органика. Их присутствие вызвано размещением в выемках токсичных промышленных отходов с образованием вторичных продуктов их взаимодействия. В связи с этим каждый из элементов ПТС характеризуется более широким набором показателей физико-химического состава, геомеханических свойств и токсичности.

Обоснование направлений рекультивации и последующего целевого освоения территорий, нарушенных шламонакопителями, сопряжено с необходимостью использования множества показателей (табл. 1).

Табл. 1. Показатели оценки отдельных шламонакопителей Самарской области

Показатели	Условные обозначения	Граничные значения	Граничные условия оценки
Хронологические			
Срок эксплуатации, лет	$T_{экс}$	9…58	Оценивают стадию жизненного цикла объекта размещения отходов
Срок после завершения эксплуатации, лет	$T_{а}$	1…30	
Ресурсные			
Объем шламового тела как сырья для производства ГРМ, м^3	$V_{ш.т}$	1000… 3500000	Оценивают ресурсную способность накопителя, возможность создания комплекса утилизации шламов, а также однородность шламовых тел
Общая площадь накопителя, га	$S_{н}$	0,1…79,4	
Потребный объем материалов для восстановления нарушенных территорий* в техногенном ареале накопителя, га	$V_{рек}$	—	
Общая площадь нарушенных территорий* в техногенном ареале накопителя, га	$S_{н.т}$	—	
Свободные площади в периметральной полосе накопителя, га	$S_{с}$	—	
Количество видов размещаемых отходов, шт.	N	1…7	

Окончание табл. 1

Показатели	Условные обозначения	Граничные значения	Граничные условия оценки
Геоэкологические			
Коэффициент степени опасности	$K_о$	18,0…978	Оценивают принципиальную возможность целевого освоения накопителя в комплекс производства ГРМ
Глубина залегания подземных вод, м	$H_{п.в}$	1,5…14	
Защищенность подземных вод, балл	$Б_{з.п.в}$	—	
Коэффициент фильтрации, см/с	$K_ф$	0,0000059… 0,0023	
Концентрация нефтепродуктов, %	$C_{н/п}$	0,01…7,58	
Индекс загрязненности	$I_з$	7…86	
Геомеханические			
Влажность, %	$C_{б.в}$	10,0…95,0	Определяют методы обработки шламовых тел
Плотность частиц, кг/м^3	$ρ_ч$	0,6…2,5	
Содержание беззольного вещества, % масс.	W	1…75	
Сопротивление сдвигу, МПа (t)	$τ$	0…0,21	

* Под нарушенными территориями в техногенном ареале накопителя понимаются деградированные участки земной поверхности, расположенные в логистической доступности от объекта (не более 30 км): карьеры, полигоны, накопители, почвогрунты, загрязненные аварийными проливами и др. Предполагается, что для их восстановления будут использованы ГРМ на основе обработанного шламового сырья.

Для упрощения обоснования часть данных показателей рекомендуется объединять в группы: хронологическую, ресурсную, геоэкологическую и геомеханическую. Групповая параметрическая оценка отдельных шламонакопителей Самарской области применительно к последующему обоснованию их освоения приведена в табл. 2.

Изначально не ясно, какие из представленных в табл. 2 показателей являются наиболее значимыми для оценки пригодности территорий к целевому освоению, а какие выступают в качестве второстепенных применительно к строительству комплексов производства ГРМ в границах рекультивируемых накопителей. Кроме того, не каждый из множества накопителей может быть рекультивирован с утилизацией шламового тела. Точно также — не каждая нарушенная территория может восстанавливаться с использованием шламов даже после их предварительной обработки. В связи с этим, комплексное обоснование пригодности нарушенных накопителями территорий к целевому освоению требует применения математического аппарата обработки многомерных данных для классификации объектов.

Табл. 2. Основные характеристики накопителей шламов ЖКХ Самарской области

Наименование объекта (принадлежность)	Группы показателей														
	Хронологические		Ресурсные			Геоэкологические						Геомеханические			
	$T_{экс}$, лет	$T_{а}$, лет	$V_{ш.л}$, м^3	$S_{н}$, га	N	$K_{о}$	$H_{п.в}$, м	Б$_{з.п.в}$	$K_{ф}$, см/с	$C_{н/п}$, % масс	$I_{з}$	W, %	$\rho_{ч}$, т/м^3	$C_{б.в}$, % масс.	τ, МПа
Шламонакопитель ТЭЦ ОАО «КНПЗ» № 1	20	6	16 200	3,0	2	85	7	2	0,00031	2,5	10	30...50	0,9…1,1	5...15	0,03
Шламонакопитель ТЭЦ ОАО «КНПЗ» № 2	9	0	30 000	2,0	1	67	12	3	0,00024	1	15	50...60	0,7…0,9	15...25	0,1
Накопитель ШВХ ОАО «КНПЗ» № 1	20	6	2 000	0,5	1	24	7	2	$5{,}1\cdot10^{-05}$	0,15	9	25...35	1,0…1,2	2...4	0,06
Накопитель ШВХ ОАО «КНПЗ» № 2	20	6	5 000	0,3	1	24	7	2	$4{,}8\cdot10^{-05}$	0,1	7	30...40	1,1…1,2	1...3	0,07
Шламовая площадка (г. Новокуйбышевск)	29	0	2 000	0,2	3	32	4	1	0,0012	0	26	60...70	1,4…1,6	35...45	0,07
Накопитель шламов ОАО «КуйбышевАзот»	20	0	1 000	0,1	4	97	6	0	0,00038	1	18	65...75	1,1…1,3	5...15	0
Шламонакопитель Самарской ТЭЦ № 1	32	8	13 000	1,0	1	64	8	3	$6{,}7\cdot10^{-06}$	0	13	30...50	1,0…1,2	2...4	0,05
Шламонакопитель Самарской ТЭЦ № 2	40	0	4 500	1,0	2	59	6	1	$7{,}7\cdot10^{-05}$	0	15	50...70	1,0…1,4	2...4	0,03
Золоотвал Тольяттинской ТЭЦ	55	0	3 500 000	79,4	3	95	14	4	0,00036	0	19	30...50	1,7…1,9	1...2	0,21
Шламовые карты Сызранской ТЭЦ	37	5	10 000	1,0	1	84	12	3	$5{,}9\cdot10^{-06}$	0	14	20...40	0,9…1,1	4...6	0,04
Шламонакопитель Сызранской ТЭЦ	43	20	1 320 000	49,0	3	70	9	2	$8{,}5\cdot10^{-05}$	0	12	60...70	1,1…1,3	2...4	0,02
Золошлакоотвал Безымянской ТЭЦ	58	16	920 000	69,0	3	62	7	2	$6{,}3\cdot10^{-05}$	0,16	35	30...50	1,0…1,3	4...6	0,12
Шламонакопитель НК ТЭЦ-2 № 1 (бездействующий)	23	30	24 672	0,7	5	84	3	1	0,00095	4	18	40...50	2,3…2,7	8...15	0,01
Шламонакопитель НК ТЭЦ-2 № 2 (бездействующий)	13	25	45 820	1,3	7	158	2	1	0,00082	4	28	30...50	2,4...2,5	9...14	0,02
Шламонакопитель НК ТЭЦ-2 № 3 (бездействующий)	10	15	88 116	2,5	6	149	5	1	0,00047	2,4	21	45...55	1,7...1,9	4...6	0,02
Шламонакопитель НК ТЭЦ-2 № 4 (бездействующий)	16	6	52869	1,5	6	137	5	1	0,00093	2,4	33	70...90	1,4...1,6	8...13	0,03
Шламонакопитель НК ТЭЦ-2 № 5 (действующий)	20	0	42 295	1,2	4	91	3	1	0,00059	4	19	85...95	1,2...1,4	13...17	0,02
Действующий шламонакопитель НК ТЭЦ-1	17	0	25 000	1,0	5	56	4	1	0,00088	8	15	85...95	1,1...1,3	3...7	0,01
Законсервированный шламонакопитель НК ТЭЦ-1	33	10	100 000	1,5	2	89	5	1	0,00076	0	18	20...40	1,1...1,2	1...3	0,03
Накопитель-испаритель шламов ТЭЦ ОАО «Автоваз»	43	0	1 000	0,3	2	26	8	2	0,00039	0	34	50...70	1,3...1,5	1...3	0,01
Шламонакопитель ЗАО «Новокуйбышевская н/х компания»	27	0	5 000	1,5	3	65	6	1	0,00035	0,5	23	60...80	1,2...1,4	4...7	0,01
Иловые площадки КОС г. Новокуйбышевска	34	0	5 000	0,1	2	80	3	1	0,00068	0,50	34	45...97	0,7...0,8	65...85	0,01
Золоотвал НкТЭЦ-1	37	8	150 000	0,2	3	817	2	1	$4{,}6\cdot10^{-05}$	1,00	63	6...20	1,1...1,4	1...2	0,18
Иловые площадки КОС Безенчук (Самарская обл.)	37	0	15 000	0,2	2	18	7	2	0,0023	0,50	10	90...95	0,5...0,6	58...65	0,03
Иловые площадки ОСК г. Тольятти	32	0	30 000	0,4	2	56	2	1	0,00067	1,00	29	60...98	0,9...1,1	40...70	0,01
Золоотвал «Волгацеммаш» г. Тольятти	22	0	5 000	0,2	4	978	1,5	1	0,00019	0,50	86	7...11	1,0...1,2	1...2	0,05
Накопитель ШВХ г. Тольятти	21	10	20 000	1,0	2	36	2	1	0,00008	1,00	11	65...95	1,1...1,2	5...10	0,02

Для проведения анализа многомерных данных был использован пакет математических программ UNSCRAMBLER® [27]. На основе экспериментальных исследований был сформирован набор исходных данных для анализа в виде матрицы X, фрагмент которой приведен в табл. 3. Матрица X размерностью $I \times J$ состоит из 27 образцов (I) и 14 переменных (J). В качестве образцов выступают накопители (см. табл. 2), переменных — группы показателей (хронологические, ресурсные, геоэкологические, геомеханические), характеризующие как каждый накопитель в отдельности, так и все 27 объектов в целом.

Табл. 3. Фрагмент матрицы X

X=	Образцы		Переменные						
			J1	J2	J3	…	J12	J13	J14
			$T_{экс}$	T_a	$V_{шт}$	…	$\rho_ч$	$C_{б,в}$	τ
	I1	Sn(KNPZ)-1	20	6	16 200	…	0,9…1,1	5…15	0,03
	I2	Sn(KNPZ)-2	9	0	30 000	…	0,7…0,9	15…25	0,1
	I3	Svh(KNPZ)-1	20	6	2 000	…	1,0…1,2	2…4	0,1
	…	…	…	…	…	…	…	…	…
	I25	Ip(OSK)	32	0	30 000	…	0,9…1,1	40…70	0,01
	I26	Z(Wzm)	22	0	5 000	…	1,0…1,2	1…2	0,05
	I27	Svh(Tlt)	21	10	20 000	…	1,1…1,2	5…10	0,02

Исходные данные, прошедшие стадию предварительной подготовки, в ходе которой осуществлялись процедуры центрирования и шкалирования, анализировались с помощью метода главных компонент (МГК). В основе вычислений главных компонент лежит NIPALS-алгоритм. Результаты построенной МГК-модели отображаются на графиках счетов и нагрузок. Данные графики характеризуют взаимосвязь между объектами размещения отходов и оценивающими их параметрами.

С учетом общей остаточной дисперсии было построено шесть главных компонент, общая объясненная дисперсия которых составила 90 %. В работе рассматриваются 1-я (ГК1) и 4-я главные компоненты (ГК4) (рис. 1 и 2), остальные компоненты не приводятся по причине низкой информативности относительно выполняемой задачи.

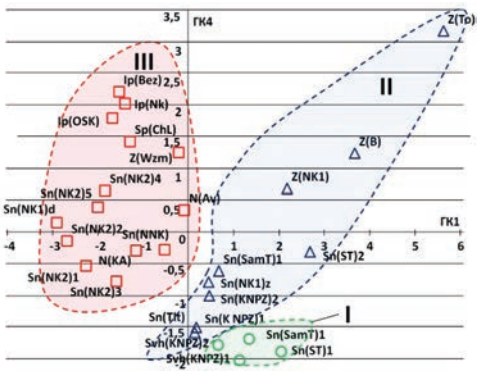

Рис. 1. График счетов

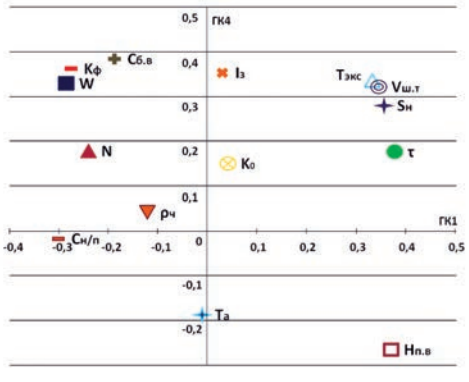

Рис. 2. График нагрузок

График счетов или «карта образцов» показывает расположение исследуемых накопителей в поле ГК1 и ГК4 (см. рис. 1). На графике счетов видно условное разделение образцов на три группы: рациональную (I), условно-рациональную (II) и нерациональную (III).

График нагрузок или «карта переменных» показывает, какой вклад вносит каждая переменная в компоненту (см. рис. 2). Он иллюстрирует коэффициенты пересчета каждой из переменных при переходе к новому виртуальному пространству меньшей размерности. На графике нагрузок можно увидеть влияние каждой из переменных на положение компоненты.

Интерпретация графиков основана на анализе взаимного расположения объектов и переменных. В случае, если две переменные на графике нагрузок располагаются рядом, то принято говорить об их положительной корреляции, т.е. чем больше один из этих показателей, тем больше другой. И наоборот, отрицательная корреляция присутствует между переменными, имеющими разные знаки «+» или «–» по отношению к 0. В этом случае действует зависимость — чем больше один показатель, тем меньше другой. Графики счетов и нагрузок рассматриваются совместно для наглядной характеристики объектов.

Анализ графика нагрузок (см. рис. 2) показал, что ГК1 определяется такими переменными, как сопротивление сдвигу τ, общей площадью нарушения $S_{н}$, объемом шламового тела $V_{ш.т}$, сроком эксплуатации $T_{экс}$, глубиной залегания подземных вод $H_{п.в}$ и плотностью частиц $\rho_{ч}$, количеством видов размещаемых отходов N, концентрацией нефтепродуктов $C_{н/п}$, между которыми наблюдается отрицательная корреляция.

ГК4 определяется такими переменными, как коэффициент степени опасности $K_{о}$, индекс загрязненности $I_{з}$, влажность W, коэффициент фильтрации $K_{ф}$, содержание беззольного вещества $C_{б.в}$ и сроком после завершения эксплуатации $T_{а}$, между которыми также наблюдается обратная корреляция.

Рассматривая совместно графики счетов и нагрузок (см. рис. 1 и 2), видно, что для объектов, попавших в рациональную группу, по сравнению с другими объектами, характерны более низкие уровни залегания подземных вод, меньшие периоды ассимиляции, низкое содержание нефтепродуктов и беззольного вещества, средние объемы шламовых тел. Объекты, попавшие в нерациональную группу, напротив, имеют более высокие концентрации нефтепродуктов и беззольного вещества, больший период ассимиляции, неглубокое залегание подземных вод, высокие показатели опасности для окружающей природной среды. Условно-рациональная группа занимает промежуточное положение.

Из графика счетов (см. рис. 1) видно, что те из обследованных накопителей, для которых характерно значение по ГК1 ниже нуля, попали в нерациональную область. К ним относят старые объекты, расположенные на территориях с геоэкологическими обременениями: пойменные участки, проявления карста, низкое залегание подземных вод, высокая загрязненность шламовых тел и геосреды инородными отходами 2 и 3-го классов опасности. Подобных объектов насчитывает 14, среди них: шламовая площадка (г. Новокуйбышевск), накопитель шламов ОАО «КуйбышевАзот», шламонакопители НК ТЭЦ-2 № 1-5, действующий шламонакопитель НК ТЭЦ-1, накопитель-испаритель шламов ТЭЦ ОАО «Автоваз», шламонакопитель ЗАО «ННК», иловые площадки КОС г. Новокуйбышевска, иловые площадки КОС Безенчук, иловые пло-

щадки ОСК г. Тольятти, золоотвал «Волгацеммаш». Их рекультивация возможна путем капсулирования шламовых тел без нарушения сплошности. Также к нерациональной области относят накопители объемом менее 10 тыс. м^3 с недостаточным сырьевым ресурсом.

При значениях менее 1,6 по ГК4 можно обозначить область объектов, пригодных к освоению. Рациональная область включает накопители, на базе которых строительство комплексов производства ГРМ возможно без ограничений по геоэкологическим условиям местности и показателям токсичности шламовых тел. Объем шламов удовлетворяет потребности в материалах, необходимых для восстановления нарушенных территорий. Шламы накопителей, входящих в рациональную область, однородны, имеют влажность не более 40 % и зольность более 90 %. Таким образом, не требуется применения дорогостоящих технологий обезвоживания и минерализации шламового сырья. Из 27 исследованных накопителей в рациональную область вошли четыре объекта: накопитель ШВХ ОАО «КНПЗ» № 1 и 2; шламонакопитель Самарской ТЭЦ № 1; шламонакопитель Сызранской ТЭЦ № 1.

В условно-рациональную область (значения более –1,6 по ГК4) вошли объекты, освоение которых в комплексы ГРМ требует предварительной подготовки отходов перед утилизацией, а также дополнительных затрат, связанных с экранированием части выемок, созданием сооружений гидротехнической защиты, вертикальной планировки и организации рельефа прилегающей территории. Неудовлетворительные геомеханические характеристики шламовых тел объектов, входящих в условно-рациональную область, требуют использования методов упрочнения шламов перед утилизацией. Использование МГК выявило принадлежность к условно-рациональной области девять накопителей: шламонакопители ТЭЦ ОАО «КНПЗ» № 1 и 2; шламонакопитель Самарской ТЭЦ № 2; золоотвал ТО ТЭЦ; шламонакопитель Сызранской ТЭЦ № 2; золошлакоотвал Безымянской ТЭЦ; законсервированный шламонакопитель НК ТЭЦ-1; золоотвал НкТЭЦ-1; накопитель ШВХ г. Тольятти.

Следует отметить, что неоднородностью обладают не только группы накопителей шламов ЖКХ, но и базовые элементы отдельных из представленных выше объектов. Пофрагментную оценку состояния накопителей рекомендуется проводить с использованием метода матрично-цифровой интерпретации базовых элементов.

Так, в ходе инженерно-экологических изысканий в законсервированном шламонакопителе НК ТЭЦ-1 был выделен фрагмент с повышенной влажностью и низким содержанием беззольного вещества (рис. 3).

Накопитель в целом входит в условно рациональную область освоения, так как объем фрагментов меньше, по сравнению с общим сырьевым ресурсом объекта. Однако перед освоением накопителя в комплекс ГРМ было рекомендовано обработать неоднородные фрагменты с использованием методов обезвоживания и минерализации. Примером комплекса переработки шламовых тел выступает запроектированная площадка обработки шламов ОАО «НкНПЗ», которая наряду с нефтешламами способна принимать на переработку шламы ЖКХ, образующиеся и накопленные в границах Новокуйбышевской градопромышленной агломерации. Технологический план площадки приведен на рис. 4.

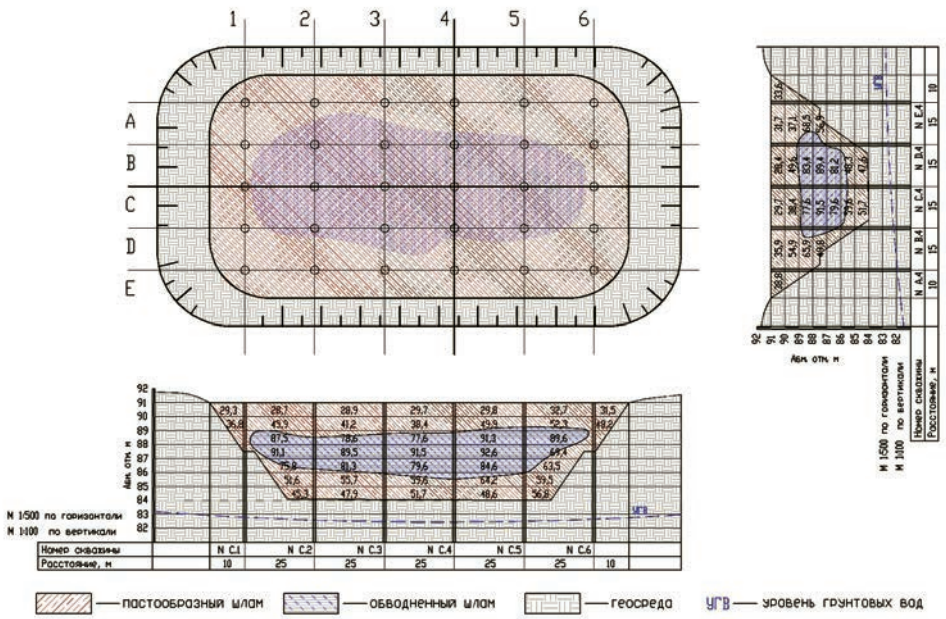

Рис. 3. Пример цифровых матрицы влажности фрагментов накопителя

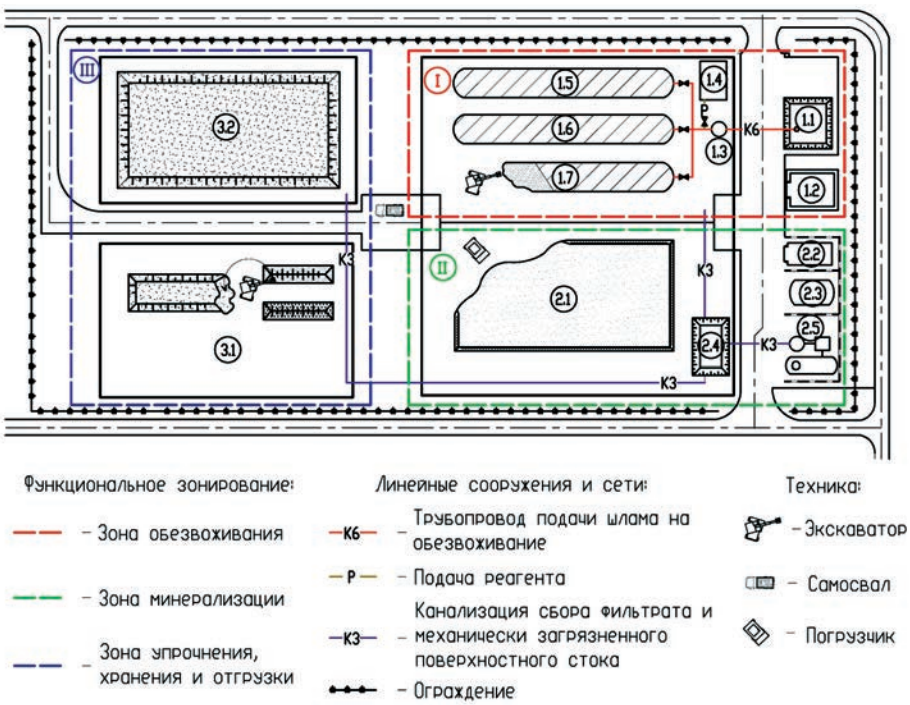

Рис. 4. План комплекса производства ГРМ на основе шламов ЖКХ: I — зона геоконтейнерного обезвоживания: 1.1 — карта накопления обводненного шлама; 1.2 — площадка хранения кондиционирующих добавок (золы ТЭЦ); 1.3 — насосная станция; 1.4 — реагентное хозяйство; 1.5—1.7 — геотекстильные контейнеры; II — зона минерализации: 2.1 — площадка слоевой минерализации; 2.2 — карта накопления сухих и пастообразных шламов; 2.3 — карта накопления шламов оборотного водоснабжения; 2.4 — пруд-накопитель фильтрата и поверхностного стока; 2.5 — локальные очистные сооружения; III — зона упрочнения, хранения и отгрузки: 3.1 — площадка упрочнения; 3.2 — площадка хранения и отгрузки

Обводненный шлам из накопителя направляется в заглубленную карту 1.1, куда также вносится кондиционирующая добавка, складируемая на площадке 1.2. Шлам при помощи насосов 1.3 подается в геотекстильные контейнеры 1.5 и 1.6, где происходит гравитационное обезвоживание. При необходимости в шлам вносится коагулянт, приготавливаемый в реагентном хозяйстве 1.4. После завершения процесса обезвоживания геотекстильные контейнеры вскрываются 1.7 и шлам перемещается на площадку слоевой минерализации 2.1. Также на площадку доставляются подсушенный пастообразный шлам с карты 2.2. На площадке слоевой минерализации шлам при помощи погрузчика формируется в слой толщиной до 0,4…0,6 м для обеспечения свободного доступа кислорода. При формировании слоя вносится источник микрофлоры-редуцента и биогенных элементов — шлам оборотного водоснабжения из карты 2.3. На площадке расположен заглубленный пруд-накопитель 2.4 фильтрата из геоконтейнеров, а также загрязненного поверхностного стока. По мере накопления стоки направляются на очистные сооружения 2.5, при необходимости сток направляется на увлажнение минерализуемого шлама. При завершении процесса распада беззольного вещества шлам доставляется на площадку (3.1), где смешивается с упрочняющими добавками (золошлаками ТЭЦ, отходами известняка и доломита, гипсом). Готовый ГРМ доставляется на площадку 3.2, где хранится до его отправки потребителю.

Производительность комплекса по ГРМ составляет до 8 000 т/г. Перечень имеющихся на комплексе вспомогательных сооружений допускает, наряду со шламами ЖКХ хозяйства, принимать и обрабатывать нефтешламы, нефтезагрязненные грунты и другие отходы нефтегазового комплекса [28]. А универсальное конструктивно-технологическое оформление и широкая ресурсная база позволяют эксплуатировать площадку в круглогодичном режиме.

Применение анализа многомерных данных при оценке накопителей шламов ЖКХ позволило из большого перечня объектов, характеризуемых множеством показателей, выделить наиболее перспективные с позиции их целевого освоения. Создание комплексов производства ГРМ на базе шламонакопителей способствует минимизации негативного воздействия на окружающую среду, сокращению затрат на закупку природных грунтов для рекультивации, а также снижению расходов, связанных с размещением отходов.

Библиографический список

1. *Гуляева И.С., Дьяков М.С., Глушанкова И.С., Беленький М.Б.* Утилизация осадков сточных вод с получением продуктов, обладающих товарными свойствами // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 7. С. 43—49.

2. *Зубкова В.И., Коренькова С.Ф., Малявский Н.И.* Природное и техногенное наносырье в производстве смешанных вяжущих // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 174—176.

3. *Николаева Л.А., Голубчиков М.А., Захарова С.В.* Изучение сорбционных свойств шлама осветлителей при очистке сточных вод ТЭС от нефтепродуктов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9—10. С. 86—91.

4. *Николаева Л.А., Недзвецкая Р.Я.* Исследование утилизации шлама водоподготовки ТЭС в качестве сорбента при биологической очистке сточных вод промышленных предприятий // Вода: химия и экология. 2012. № 8. С. 80—84.

5. *Тараканов О.В., Пронина Т.В., Тараканов А.О.* Применение минеральных шламов в производстве строительных растворов // Строительные материалы. 2008. № 4. С. 68—70.

6. *Чумаченко Н.Г., Коренькова Е.А.* Промышленные отходы — перспективное сырье для производства строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 3. С. 20—24.

7. *Maristela B.R. Cerqueira, Sergiane S. Caldas, Ednei G. Primel.* New sorbent in the dispersive solid phase extraction step of quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe for the extraction of organiccontaminants in drinking water treatment sludge // Journal of Chromatography A. 2014. Vol. 1336. Pp. 10—22.

8. *Zhou Z., Yang Y., Li X., Wang W., Wu Y., Wang C., Luo J.* Coagulation performance and flocs characteristics of recycling pre-sonicated condensate sludge for low-turbidity surface water treatment // Separation and Purification Technology. 2014. Vol. 123. Pp. 1—8.

9. *Zhou Z., Yang Y., Li X., Gao W., Liang H., Li G.* Coagulation efficiency and flocs characteristics of recycling sludge during treatment of low temperature and micro-polluted water // Journal of Environmental Sciences. 2012. 24 (6). Pp. 1014—1020.

10. *David I. Verrelli, David R. Dixon, Peter J. Scales.* Effect of coagulation conditions on the dewatering properties of sludges produced in drinking water treatment // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2009. Vol. 348. No. 1—3. Pp. 14—23.

11. *Palomo M., Penalver A., Aguilar C., Borrull F.* Presence of naturally occurring radioactive materials in sludge samples from several Spanish water treatment plants // Journal of Hazardous Materials. 2010. No. 181 (1—3). Pp. 716—721.

12. *Xu G.R., Yan Z.C., Wang Y.C., Wang N.* Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 161. No. 2—3. Pp. 663—669.

13. *Jing Sun, Ilje Pikaar, Keshab Raj Sharma, Jurg Keller, Zhiguo Yuan.* Feasibility of sulfide control in sewers by reuse of iron rich drinking water treatment sludge // Water Research. 2015. Vol. 71. Pp. 150—159.

14. *Keeley James, Smith Andrea D., Judd Simon J., Jarvis Peter.* Reuse of recovered coagulants in water treatment: An investigation on the effect coagulant purity has on treatment performance // Separation and Purification Technology. 2014. No. 131. Pp. 69—78.

15. *Chung-Ho Huang, Shun-Yuan Wang.* Application of water treatment sludge in the manufacturing of lightweight aggregate. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 43. Pp. 174—183.

16. *Olga Kizinievic, Ramune Zurauskiene, Viktor Kizinievic, Rimvydas Zurauskas.* Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. Pp. 464—473.

17. *Almir Sales, Francis Rodrigues de Souza.* Concretes and mortars recycled with water treatment sludge and construction and demolition rubble // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. No. 6. Pp. 2362—2370.

18. *Carine Julcour Lebigue, Caroline Andriantsiferana, N'Guessan Krou, Catherine Ayral, Elham Mohamed, Anne-Marie Wilhelm, Henri Delmas, Laurence Le Coq, Claire Gerente, Karl M. Smith, Suangusa Pullket, Geoffrey D. Fowler, Nigel J.D. Graham.* Application of sludge-based carbonaceous materials in a hybrid water treatment process based on adsorption and catalytic wet air oxidation // Journal of Environmental Management. 2010. No. 91 (12). Pp. 2432—2439.

19. *Siswoyo E., Mihara Y., Tanaka S.* Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water // Applied Clay Science. 2014. Vol. 97—98. Pp. 146—152.

20. *Almir Sales, Francis Rodrigues de Souza, Fernando do Couto Rosa Almeida.* Mechanical properties of concrete produced with a composite of water treatment sludge and sawdust // Construction and Building Materials. 2011. Vol. 25. No. 6. Pp. 2793—2798.

21. *Ротермель М.В., Бучельников Д.Ю., Красненко Т.И., Сирина Т.П.* Шламы химической водоподготовки: состав, свойства, перспективы рециклинга // Техносферная безопасность. 2014. № 1 (2). Режим доступа: http://uigps.ru/sites/default/files/jyrnal/stat%20PB%202/12.pdf. Дата обращения: 20.12.2014.

22. Review of Mine Drainage Treatment and Sludge Management Operations Project 603054, REPORT CANMET-MMSL 10-058(CR). Version-March 2013.

23. *Кривень А.П.* Выбор оборудования для обезвоживания осадков сточных вод и производственных шламов // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 5. С. 67—74.

24. *Boizonella D., Cavinato C., Fatone F., et al.* High rate mesophilic, thermophilic, and temperature phased anaerobic digestion of waste activated sludge. A pilot scale study // Waste Management. 2012. Vol. 32. No. 6. Pp. 1196—1201.

25. *Дмитриев В.В.* Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы // Общество. Среда. Развитие. 2009. № 4. С. 146—165.

26. *Пряхин С.И.* Методика геоэкологического анализа природно-технических геосистем юга Приволжской возвышенности (в пределах Волгоградской области) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2007. № 2. С. 78—86.

27. *Lied T.T., Geladi P., Esbensen K.H.* Multivariate image regression (MIR): implementation of image PLSR — first forays // Chemometrics. 2000. Vol. 14. No. 5—6. Pp. 585—599.

28. *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.

Поступила в редакцию в мае 2015 г.

Об авторах: **Чертес Константин Львович** — доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии, **Самарский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)**, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, chertes2007@yandex.ru;

Тупицына Ольга Владимировна — доктор технических наук, доцент кафедры химической технологии и промышленной экологии, **Самарский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)**, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, olgatupicyna@yandex.ru;

Пыстин Виталий Николаевич — аспирант кафедры химической технологии и промышленной экологии, **Самарский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)**, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, vitaliy.pystin@yandex.ru;

Ермаков Василий Васильевич — старший преподаватель кафедры химической технологии и промышленной экологии, **Самарский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)**, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, ncpe@mail.ru;

Раменская Екатерина Вячеславовна — аспирант кафедры химической технологии и промышленной экологии, **Самарский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)**, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, iljushinakatja@rambler.ru;

Штеренберг Александр Моисеевич — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики и физики нефтегазового производства, **Самарский государственный технический университет (ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)**, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, physics@samgtu.ru.

Для цитирования: *Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Ермаков В.В., Раменская Е.В., Штеренберг А.М.* Геоэкологическое обоснование освоения накопителей шламов ЖКХ методом обработки многомерных данных // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 88—101.

K.L. Chertes, O.V. Tupitsyna, V.N. Pystin, V.V. Ermakov, E.V. Ramenskaya, A.M. Shterenberg

GEOECOLOGICAL RATIONALE OF THE DEVELOPMENT OF HOUSING AND COMMUNAL SERVICES SLUDGE STORAGES BY THE METHOD OF MULTIDIMENSIONAL DATA PROCESSING

The activity of housing services and utilities results in great amounts of waste: sludge of water and wastewater utilities, waste waters of TPPs and recycling water supply. The known ways of such waste utilization are related to production of construction materials and secondary reactants for wastewater treatment. Though the volumes of sludge most often exceed the regional demand in raw materials for local construction materials or coagulants. Moreover sludge as man-made raw material cannot compete with their natural analogues in terms of quality.

The basic characteristics of housing and communal services sludge storages were considered from the perspective of their target development. The system of state assessment of sludge storages was represented by the multidimensional data analysis. The waste disposal facilities considered in this study were classified into three groups from the perspective of the feasibility and practicability of their abandoning. An example of the digital matrix of waste disposal facilities' condition was given. The constructive and technological design of the system of recultivating materials production was given.

Key words: sludge, housing and communal services, multidimensional data analysis, soil-like material, recultivation, geo-container drying, mineralizing, hardening.

References

1. Gulyaeva I.S., D'yakov M.S., Glushankova I.S., Belen'kiy M.B. Utilizatsiya osadkov stochnykh vod s polucheniem produktov, obladayushchikh tovarnymi svoystvami [Utilization of Wastewater Sludge with Obtaining Marketable Products]. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental Protection in Oil and Gas Sector]. 2012, no. 7, pp. 43—49. (In Russian)

2. Zubkova V.I., Koren'kova S.F., Malyavskiy N.I. Prirodnoe i tekhnogennoe nanosyr'e v proizvodstve smeshannykh vyazhushchikh [Natural and Technogenic Nano Raw Material in Production of Mixed Binder]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Proceedings of the Volga Region]. 2013, no. 1, pp. 174—176. (In Russian)

3. Nikolaeva L.A., Golubchikov M.A., Zakharova S.V. Izuchenie sorbtsionnykh svoystv shlama osvetliteley pri ochistke stochnykh vod TES ot nefteproduktov [Investigation of Sorption Properties of Clearing Agent Sludge at TPP Wastewater Treatment from Oil Products]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [News of Higher Educational Institutions. Problems of Energy Sector]. 2012, no. 9—10, pp. 86—91. (In Russian)

4. Nikolaeva L.A., Nedzvetskaya R.Ya. Issledovanie utilizatsii shlama vodopodgotovki TES v kachestve sorbenta pri biologicheskoy ochistke stochnykh vod promyshlennykh predpriyatiy [Investigation of TPP Wastewater Sludge Utilization as Sorbent at Biological Wastewater Treatment at Industrial Plants]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology]. 2012, no. 8, pp. 80—84. (In Russian)

5. Tarakanov O.V., Pronina T.V., Tarakanov A.O. Primenenie mineral'nykh shlamov v proizvodstve stroitel'nykh rastvorov [The Use of Mineral Sludge in Production of Construction Mortars]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2008, no. 4, pp. 68—70. (In Russian)

6. Chumachenko N.G., Koren'kova E.A. Promyshlennye otkhody — perspektivnoe syr'e dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov [Industrial Waste — Perspective Raw Material for Construction Materials Production]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2014, no. 3, pp. 20—24. (In Russian)

7. Maristela B.R. Cerqueira, Sergiane S. Caldas, Ednei G. Primel. New Sorbent in the Dispersive Solid Phase Extraction Step of Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe for the Extraction of Organiccontaminants in Drinking Water Treatment Sludge. Journal of Chromatography A. 2014, vol. 1336, pp. 10—22. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2014.02.002.

8. Zhou Z., Yang Y., Li X., Wang W., Wu Y., Wang C., Luo J. Coagulation Performance and Flocs Characteristics of Recycling Pre-Sonicated Condensate Sludge for Low-Turbidity Surface Water Treatment. Separation and Purification Technology. 2014, vol. 123, pp. 1—8. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2013.12.001.

9. Zhou Z., Yang Y., Li X., Gao W., Liang H., Li G. Coagulation Efficiency and Flocs Characteristics of Recycling Sludge During Treatment of Low Temperature and Micro-Polluted Water. Journal of Environmental Sciences. 2012, 24 (6), pp. 1014—1020. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(11)60866-8.

10. David I. Verrelli, David R. Dixon, Peter J. Scales. Effect of Coagulation Conditions on the Dewatering Properties of Sludges Produced in Drinking Water Treatment. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2009, vol. 348, no. 1—3, pp. 14—23. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2009.06.013.

11. Palomo M., Penalver A., Aguilar C., Borrull F. Presence of Naturally Occurring Radioactive Materials in Sludge Samples from Several Spanish Water Treatment Plants. Journal of Hazardous Materials. 2010, no. 181 (1-3), pp. 716—721. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.071.

12. Xu G.R., Yan Z.C., Wang Y.C., Wang N. Recycle of Alum Recovered from Water Treatment Sludge in Chemically Enhanced Primary Treatment. Journal of Hazardous Materials. 2009, vol. 161, no. 2-3, pp. 663—669.

13. Jing Sun, Ilje Pikaar, Keshab Raj Sharma, Jurg Keller, Zhiguo Yuan. Feasibility of Sulfide Control in Sewers by Reuse of Iron Rich Drinking Water Treatment Sludge. Water Research. 2015, vol. 71, pp. 150—159. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.044.

14. Keeley James, Smith Andrea D., Judd Simon J., Jarvis Peter. Reuse of Recovered Coagulants in Water Treatment: an Investigation on the Effect Coagulant Purity Has on Treatment Performance. Separation and Purification Technology. 2014, no. 131, pp. 69—78.

15. Chung-Ho Huang, Shun-Yuan Wang. Application of Water Treatment Sludge in the Manufacturing of Lightweight Aggregate. Construction and Building Materials. 2013, vol. 43, pp. 174—183. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.016.

16. Kizinievic O., Zurauskiene R., Kizinievic V., Zurauskas R. Utilisation of Sludge Waste from Water Treatment for Ceramic Products. Construction and Building Materials. 2013, vol. 41, pp. 464—473. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.041.

17. Almir Sales, Francis Rodrigues de Souza. Concretes and Mortars Recycled with Water Treatment Sludge and Construction and Demolition Rubble. Construction and Building Materials. 2009, vol. 23, no. 6, pp. 2362—2370. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.11.001.

18. Carine Julcour Lebigue, Caroline Andriantsiferana, N'Guessan Krou, Catherine Ayral, Elham Mohamed, Anne-Marie Wilhelm, Henri Delmas, Laurence Le Coq, Claire Gerente, Karl M. Smith, Suangusa Pullket, Geoffrey D. Fowler, Nigel J.D. Graham. Application of Sludge-Based Carbonaceous Materials in a Hybrid Water Treatment Process Based on Adsorption and Catalytic Wet Air Oxidation. Journal of Environmental Management. 2010, no. 91 (12), pp. 2432—2439. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.06.008.

19. Siswoyo E., Mihara Y., Tanaka S. Determination of Key Components and Adsorption Capacity of a Low Cost Adsorbent Based on Sludge of Drinking Water Treatment Plant to Adsorb Cadmium Ion in Water. Applied Clay Science. 2014, vol. 97—98, pp. 146—152. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.05.024.

20. Almir Sales, Francis Rodrigues de Souza, Fernando do Couto Rosa Almeida. Mechanical Properties of Concrete Produced with a Composite of Water Treatment Sludge and Sawdust. Construction and Building Materials. 2011, vol. 25, no. 6, pp. 2793—2798. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.057.

21. Rotermel' M.V., Buchel'nikov D.Yu., Krasnenko T.I., Sirina T.P. Shlamy khimicheskoy vodopodgotovki: sostav, svoystva, perspektivy retsiklinga [Chemical Water Treatment Sludge: Composition, Properties, Recycling Prospect]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'* [Technosphere Safety]. 2014, no. 1 (2). Available at: http://uigps.ru/sites/default/files/jyrnal/stat%20PB%202/12.pdf. Date of access: 20.12.2014. (In Russian)

22. Review of Mine Drainage Treatment and Sludge Management Operations Project 603054. REPORT CANMET-MMSL 10-058(CR). Version-March 2013.

23. Kriven' A.P. Vybor oborudovaniya dlya obezvozhivaniya osadkov stochnykh vod i proizvodstvennykh shlamov [Choosing the Equipment for Wastewater and Industrial Sludge Dewatering]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. 2012, no. 5, pp. 67—74. (In Russian)

24. Boizonella D., Cavinato C., Fatone F., et al. High Rate Mesophilic, Thermophilic, and Temperature Phased Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge. A Pilot Scale Study. Waste Management. 2012, vol. 32, no. 6, pp. 1196–1201.

25. Dmitriev V.V. Opredelenie integral'nogo pokazatelya sostoyaniya prirodnogo ob"ekta kak slozhnoy sistemy [Measuring the Integral Index of an Natural Object's State as a Complicated System]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Society. Environment. Development]. 2009, no. 4, pp. 146—165. (In Russian)

26. Pryakhin S.I. Metodika geoekologicheskogo analiza prirodno-tekhnicheskikh geosistem yuga Privolzhskoy vozvyshennosti (v predelakh Volgogradskoy oblasti) [Methods of Geoecological Analysis of Netural-Technical Geosystems of the South of Volga Upland (Within the Volgograd Region)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography, Geoecology]. 2007, no. 2, pp. 78—86. (In Russian)

27. Lied T.T., Geladi P., Esbensen K.H. Multivariate Image Regression (MIR): Implementation of Image PLSR — First Forays. Chemometrics. 2000, vol. 14, no. 5—6, pp. 585—599. DOI: http://dx.doi.org/10.1002/1099-128X(200009/12)14:5/6<585::AID-CEM627>3.0.CO;2-Q

28. Bykov D.E., Tupitsyna O.V., Gladyshev N.G., Zelentsov D.V., Gvozdeva N.V., Samarina O.A., Tsimbalyuk A.E., Chertes K.L. Kompleks biodestruktsii nefteotkhodov [Biodegradation Complex for Oil-Processing Waste]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. 2011. No. 3. Pp. 33—34. (In Russian)

About the authors: **Chertes Konstantin L'vovich** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, **Samara State Technical University (SamSTU)**, 244 Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation; chertes2007@yandex.ru;

Tupitsyna Ol'ga Vladimirovna — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, **Samara State Technical University (SamSTU)**, 244 Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation; olgatupicyna@yandex.ru;

Pystin Vitaliy Nikolaevich — postgraduate student, Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, **Samara State Technical University (SamSTU)**, 244 Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation; vitaliy.pystin@yandex.ru;

Ermakov Vasiliy Vasil'evich — Senior Lecturer, Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, **Samara State Technical University (SamSTU)**, 244 Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation; ncpe@mail.ru;

Ramenskaya Ekaterina Vyacheslavovna — postgraduate student, Department of Chemical Technology and Industrial Ecology, **Samara State Technical University (SamSTU)**, 244 Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation; iljushinakatja@rambler.ru;

Shterenberg Aleksandr Moiseevich — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, chair, Department of General Physics and Physics of Oil and Gas Industry, **Samara State Technical University (SamSTU)**, 244 Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation; physics@samgtu.ru.

For citation: Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Pystin V.N., Ermakov V.V., Ramenskaya E.V., Shterenberg A.M. Geoekologicheskoe obosnovanie osvoeniya nakopiteley shlamov ZhKKh metodom obrabotki mnogomernykh dannykh [Geoecological Rationale of the Development of Housing and Communal Services Sludge Storages by the Method of Multidimensional Data Processing]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 6, pp. 88—102. (In Russian)