ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI 10.15593/2409-5125/2018.02.06

УДК 628.16

Д.А. Семенов, В.И. Клевеко

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДОЕМОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ ОТ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены особенности обезвоживания донных отложений по технологии геотубирования, показана возможность применения данного метода для улучшения показателей качества воды в водных объектах Пермского края.

В процессе изучения данных Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 2013 г. в Пермском крае было обнаружено значительное содержание тяжелых металлов в водных объектах. Выявлена необходимость удаления донных отложений для улучшения состояния водных объектов и обеспечения необходимых глубин. Исследование основных методов обезвоживания донных отложений позволило выбрать наиболее рациональный вариант решения проблемы загрязнения отложений – геотубирование. Описана технология производства работ по обезвоживанию донных отложений в геосинтетических оболочках. Представлены экспериментальные данные о стоимости геотубирования, оптимальных реагентах, необходимом количестве обслуживающего персонала и о снижении содержания различных загрязнителей в донных отложениях после обезвоживания в геосинтетических оболочках.

Приведено поперечное сечение оболочки, поясняющее формулы для расчета усилий и размеров геосинтетической оболочки. Рассмотрены основные направления использования донных отложений. На основе сравнения экологического состояния водных объектов на территории Пермского края за 2013 и 2016 гг. сделан вывод о необходимости очистки донных отложений. Проанализирована возможность использования для этой цели геосинтетических оболочек.

Ключевые слова: геосинтетическая оболочка, донные отложения, обезвоживание, геотубирование, реагент, пульпа, тяжелые металлы.

Семенов Д.А., Клевеко В.И. Использование геосинтетических оболочек для очистки водоемов Пермского края от донных отложений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 2. – С. 74–85. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.06

Semenov D., Klevko V. The use of geosynthetic shells for the cleaning of water bodies of Perm territory from bottom sediments. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 2. Pp. 74-85. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.06

Оседание на дно попадающих в воду загрязнителей является одним из источников формирования донных отложений наряду с эрозией грунтов, переработкой берегов и накоплением органических веществ. Техногенные донные отложения, образующиеся таким образом, являются токсичными, санитарно-опасными или просто безжизненными. Эти отложения – постоянный источник загрязнения воды даже при длительном отсутствии внешнего отрицательного воздействия. Содержание загрязняющих химических веществ в донных отложениях может превышать их концентрацию в воде в 5–10 раз и более [1–3].

Кроме того, донные отложения могут иметь высокую бактериальную загрязненность. В них встречаются кишечные палочки, до 15 видов гельминтов и множество патогенных микроорганизмов. Складывается неблагоприятное санитарно-эпидемиологическое состояние: нарушены функции естественной очистки, формируется большое количество токсичных водорослей.

Важной проблемой является также уменьшение емкости водоемов в связи с заиливанием. Установлено, что ежегодно в мире более чем на 1 % сокращается вместимость водохранилищ в связи с осадконакоплением.

Вследствие всего вышесказанного образующиеся в водных объектах донные отложения необходимо периодически удалять с целью обеспечения необходимых глубин, сохранения гидравлического режима, а также улучшения экологического и санитарно-гигиенического состояния водных объектов [4].

Удаление донных отложений может выполняться механизированным или гидромеханизированным способами. Механизированное удаление донных отложений осуществляется путем полного осушения водоема с последующей разработкой донных отложений экскаватором. Этот метод возможен только для зарегулированных водоемов и влечет за собой гибель сложившейся экосистемы.

При гидромеханизированной разработке отложения поднимаются со дна водоема при помощи земснаряда. Осушение водоема не требуется, в связи с чем снижается нагрузка на него и окружающую местность, но в 2–5 раз увеличивается величина извлекаемых отложений, так как их необходимо разводить водой для перекачивания землесосным снарядом. Чтобы сократить площади, занимаемые отложениями, и избежать дальнейшую транспортировку, необходимо провести обезвоживание донных отложений.

На данный момент дегидратация отложений выполняется в основном аппаратными методами или путем осушения на иловых площадках.

Обезвоживание донных отложений на картах требует выделения больших площадей, условия населенного пункта часто этого не позволя-

ют. В средней полосе России практика использования наливных карт демонстрирует, что процесс гравитационного уплотнения в течение 3–4 лет уменьшает первоначальную влажность до 85–90 %, в дальнейшие 1–2 года, при условии копошения, – до 70–75 %. Кроме того, на площадках отпавляемая обратно в водный объект вода включает большой объем взвешенных частиц, что вызывает вторичное засорение водоема и снижает эффективность выполненной работы.

При использовании аппаратного метода обезвоживания требуются значительные расходы на проектирование и устройство инфраструктуры. Подготовительный период может занять от 2 до 5 лет. В процессе эксплуатации оборудования потребуются дорогостоящее техническое обслуживание. Кроме того, при использовании аппаратных методов обезвоживания предъявляются высокие требования к квалификации обслуживающего персонала и составу обезвоживаемой суспензии [5, 6].

Минимизировать недостатки данных методов способна технология геотубирования, которая уже была успешно использована для обезвоживания различных загрязненных суспензий. Geotube – это процедура гравитационного обезвоживания пульпы в геосинтетических оболочках. Геотубы выполнены из фильтрующего геотекстильного материала высокой прочности. Материал геотекстиля и особое вязание создают поры, выпускающие воду наружу и препятствующие возвращению загрязнителей во внешнюю среду [7–10].

Обезвоживание по методу Geotube выполняется в несколько стадий:

1. Происходит подготовка технологической площадки: выравнивается территория производства работ, удаляются посторонние объекты (корни, камни и т.д.). По границе полигона формируется водосборная канава, укладывается водонепроницаемая мембрана, предусматривается дренаж. Без перегибов разворачиваются геотубы.

2. Монтируются нагнетательные трубы, которые будут подавать пульпу от насоса или земснаряда.

3. Приготавливается раствор реагентов, который должен поступать в максимальной близости к месту соединения трубы с геосинтетической оболочкой, но на расстоянии, гарантирующем смешивание пульпы с реагентами.

4. Осуществляется нагнетание пульпы в оболочку. После наполнения оболочку оставляют на несколько дней. По мере освобождения воды и уменьшения объема осуществляется подкачка пульпы.

5. Выполняется вскрытие оболочек для транспортировки донных отложений или их использования на местности. Разрезание оболочек вы-

полняется не ранее месяца с момента последней подачи пульпы. Рекомендуется не менее 3 месяцев [11].

По прошествии месяца дегидратации в геотубах влажность отложенный снижается до 75 %, после летне-осеннего сезона она составляет порядка 65–70 %. Дополнительное снижение влажности (55–60 %) достигается путем зимнего промораживания, для чего оболочку оставляют на полигоне на зиму. Изъятие отложений из оболочек производят через месяц после оттаивания.

Во время заполнения необходимо контролировать ранее рассчитанные размеры геосинтетической оболочки и удельное давление насоса.

На рисунке представлен поперечный разрез геосинтетической оболочки. Сечение симметрично и имеет максимальную высоту h , наибольшую ширину B и ширину основания b . Давление подачи пульпы в оболочку составляет P_0 , а удельный вес пульпы равен γ . Отсюда, гидростатическое давление пульпы на любом расстоянии x от точки O

$$p(x) = P_0 + \gamma x. \quad (1)$$

Геометрия геосинтетической оболочки определяется неизвестной функцией:

$$y = f(x). \quad (2)$$

В точке $S(x; y)$ радиус кривизны геосинтетической оболочки равен ρ . Центр этой кривизны находится в точке $C(x_c; y_c)$, P и C изменяются вдоль $y(x)$. Рассмотрены силы, действующие на бесконечно малую длину дуги ds геосинтетической оболочки в S (выноска на рисунке).

Рис. Поперечное сечение геосинтетической оболочки: P – радиус бесконечно малого элемента; θ – угол между осью x и касательным направлением в точке

Растягивающее усилие в геосинтетике должно быть постоянным вдоль окружности, так как задача принята двумерной и между пульпой и геосинтетической оболочкой не развивается напряжение сдвига. Формирование уравнения равновесия сил в направлении x или y приводит к соотношению

$$\rho(x) = \frac{T}{p(x)}. \quad (3)$$

Выражение (3) справедливо в любой точке вдоль A_1OA_2 . Для упрощения анализа принимается, что рассчитанное по уравнению (3) T переносится исключительно вдоль основания b . Следовательно, уравнение (3) выражает полное решение задачи, а радиус кривизны вычисляется с помощью дифференциального уравнения

$$\rho(x) = \frac{\sqrt{(1 + (y')^2)^3}}{y''}, \quad (4)$$

где $y' = \frac{dy}{dx}$; $y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$.

Подставляя уравнения (4) и (1) в выражение (3), получаем

$$Ty'' = (P_0 + \gamma x) \sqrt{(1 + (y')^2)^3}. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) определяет отношения между геометрией трубы $y(x)$, окружной растягивающей силой T , давлением подачи P_0 , удельным весом пульпы γ и высотой оболочки h (т.е. x изменяется только между 0 и h) [12]:

$$y = f(x, T, P_0, \gamma, h). \quad (6)$$

Основным недостатком технологии геотубирования по сравнению с аппаратными методами является низкая скорость фильтрации. Для ускорения процесса фильтрации используют раствор реагентов, но необходимо проводить испытания для определения его оптимального состава. Введение реагентов не только ускоряет процесс фильтрации, но и обеспечивает связывание подвижных форм загрязнителей, дезинфекцию и стабилизацию отложений.

Исследования донных отложений озер Тюменской области продемонстрировали, что наиболее эффективным для снижения мутности воды

является использование смешанных реагентов, при этом флокулянт и коагулянт должны вводиться не одновременно, а через 2–3 мин. Следует отметить, что при изготовлении реагентного раствора нельзя применять воду из водоема ввиду присутствия в ней различных примесей, выпадающих в растворе реагента в осадок [13].

Среди преимуществ технологии Geotube можно выделить:

1) малое воздействие на окружающую среду за счет изоляции отложений;

2) низкую стоимость работ: по данным исследований обезвоживание 2500 м³ отложений по технологии геотубирования обошлось менее 4 \$ за 1 м³. Аренда ленточного пресса стоила 22 500 \$;

3) малую численность обслуживающего персонала: в старте процедуры обезвоживания по методу Geotube принимают участие 10–30 чел. (по сравнению с 100 чел. для ленточного пресса). В дальнейшем оболочки практически не требуют никаких операций и обслуживания, в отличие от аппаратных методов, нуждающихся в постоянном наблюдении и корректировке;

4) высокую скорость закачивания пульпы: 90–270 м³/ч по сравнению с 40 м³/ч для ленточного пресса [14–18];

5) значительный эффект детоксикации донных отложений: нейтрализуется до 90 % подвижных форм, концентрация ионов кадмия снижается в 40 раз, кобальта – в 3, меди – в 4 (табл. 1). Менее заметно действие нейтрализации в отношении валовых форм – порядка 50 %.

Таблица 1

Валовые и подвижные формы содержания экотоксикантов
в сыром осадке и после применения технологии геотубирования

Экотоксикант	Валовое содержание вещества, мг/кг		Подвижные формы вещества, мг/кг	
	Сырой осадок	Продукт геотубирования	Сырой осадок	Продукт геотубирования
Кадмий	39,0	38,0	40,0	< 11,1
Кобальт	2,7	1,2	3,3	< 0,1
Медь	1206,0	90,0	4,1	< 1,0
Мышьяк	5,6	1,8	0	0
Никель	37,0	18,0	24,7	< 1,0
Свинец	98,0	23,0	7,3	< 1,0
Хром	23,0	8,7	4,3	1,0
Цинк	516,0	464,0	245,0	5,0
Нефтепродукты	197,0	29,0	0	0
Бензапирен	0,59	0,084	0	0

Обезвоженные донные отложения подлежат захоронению или использованию для мелиорации земель, повышения высоты территорий, в ландшафтном дизайне, сельском хозяйстве и т.д. Область применения зависит, главным образом, от содержания загрязняющих веществ в донных отложениях и их гранулометрического состава. Если утилизация донных отложений невозможна или экономически нецелесообразна, то применяется сжигание.

В заключение хотелось бы отметить, что несмотря на положительную динамику, ситуация с экологическим состоянием водных объектов Пермского края остается напряженной. По данным Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, качество природной воды в большинстве створов наблюдений относится к 3 классу качества, разряду А как «загрязненная» или разряду Б как «очень загрязненная» (табл. 2). Наиболее загрязненными остаются реки, входящие в зону воздействия самоизливов шахтных вод Кизеловского угольного бассейна: Косьва, Вильва, Сев. Вильва, Кизел. Вода р. Кизел оценивается как 5 класс качества – экстремально грязная. Вода рек Вильва и Сев. Вильва характеризуется 4 классом качества – грязная. В створах в черте г. Перми и выше в верхнем бьефе Камской ГЭС превышающие ПДК среднегодовые концентрации отмечались по Mn, Fe, Cu и ХПК.

Таблица 2

Экологическое состояние водных объектов Пермского края
в 2013 и 2016 гг.

Водный объект	Показатель	2013	2016
Река Кама в районе п. Тюлькино	Железо	6 ПДК	7 ПДК
	Марганец	7 ПДК	7 ПДК
	Медь	< ПДК	3 ПДК
	ХПК	–	2 ПДК
	Класс	2 – слабо загрязненная	3А – загрязненная
Река Вишера ниже г. Красновишерск	Марганец	8	4 ПДК
	Железо	5	4 ПДК
	Медь	< ПДК	2 ПДК
	Класс	3Б – очень загрязненная	3Б – очень загрязненная
Река Косьва ниже г. Губаха	Марганец	11	10 ПДК
	Железо	37	47 ПДК
	Медь	2	3 ПДК
	Фенолы летучие	5 ПДК	5 ПДК
	Аммоний азота	~ПДК	2 ПДК
	Класс	4Б – грязная	4А – грязная

Окончание табл. 2

Водный объект	Показатель	2013	2016
Река Чусовая в районе г. Чусовой	Железо	3 ПДК	2–3 ПДК
	Марганец	6 ПДК	4–7 ПДК
	Медь	< ПДК	3–4 ПДК
	Цинк	< ПДК	< ПДК
	Класс	3 А – загрязненная	3А – загрязненная
Река Сытва в районе г. Кунгур	Марганец	5	2–4 ПДК
	Медь	< ПДК	3 ПДК
	Железо	3 ПДК	–
	Фенолы летучие	< ПДК	< ПДК
	Нефтепродукты	< ПДК	< ПДК
	Класс	3А – загрязненная	3А – загрязненная
Река Лысьва в районе г. Лысьва	Марганец	6 ПДК	2–6 ПДК
	Железо	2 ПДК	2 ПДК
	Медь	2 ПДК	2–4 ПДК
	Фенолы летучие	< ПДК	< ПДК
	Нефтепродукты	< ПДК	< ПДК
	Аммоний азота	< ПДК	< ПДК
	Нитриты азота	< ПДК	< ПДК
	Класс	3А – загрязненная	3А – загрязненная
Река Иньва в районе г. Кудымкар	Марганец	8 ПДК	5–6 ПДК
	Железо	3 ПДК	3–6 ПДК
	Медь	< ПДК	3 ПДК
	Фенолы летучие	< ПДК	< ПДК
	Нефтепродукты	< ПДК	< ПДК
	Класс	3А – загрязненная	3А – загрязненная
Камское вдхр. в районе г. Соликамск	Марганец	12 ПДК	8–11 ПДК
	Железо	5 ПДК	5–6 ПДК
	Медь	2 ПДК	3 ПДК
	ХПК	–	2 ПДК
	Фенолы летучие	< ПДК	< ПДК
	Нефтепродукты	< ПДК	< ПДК
	Класс	3А – загрязненная	3Б – очень загрязненная

Вода малых рек на территории краевой столицы, таких как р. Данилиха и р. Егошиха, в 2016 г. оценивалась на 5 и 4 классы качества – экстремально грязная и грязная соответственно. Наиболее остро стоит проблема содержания в воде тяжелых металлов, что не может не отразиться на человеке. Так, согласно данным по состоянию здоровья населения из ежегодного государственного доклада по Пермскому краю за 2015 г., у его жителей наблюдаются элементозы. У 81 % детей повышенное содержание Cu, 76 % – Pb, Cr и Zn – 33 %, Mn – 9,5 %. Дисбаланс микроэлементов может привести к тяжелым заболеваниям, задержке роста, малокровию и другим трагическим последствиям [19].

Благодаря свойству геотубов, заключающемуся в нейтрализации экотоксикантов, геосинтетические оболочки являются эффективным методом обезвоживания донных отложений и могут использоваться в условиях Пермского края для реабилитации водных объектов и оздоровления населения.

Выводы. Проанализировано состояние водных объектов на территории Пермского края за 2013 и 2016 гг. Описан процесс формирования донных отложений и их воздействие на состояние водной среды. Представлены методы разработки донных отложений. Исследование основных способов обезвоживания отложений выявило необходимость нового метода, не требующего выделения большой площади, устройства цеховой инфраструктуры, постоянного участия в производстве работ большого числа людей и сводящего к минимуму ряд других недостатков классических технологий. Проанализирована технология геотубирования, выявлен принцип действия геотубов и этапы обезвоживания с временной и влажностной характеристиками. Систематизирована и подробно описана последовательность технологических операций по обезвоживанию донных отложений в геотубах. Приведены данные исследований по снижению содержания экотоксикантов в донных отложениях после геотубирования, а также стоимость содержания, обезвоживания и уплотнения в геотубах за 1 м³. Выявлены основные параметры, определяющие возможность применения донных отложений в различных сферах: содержание загрязнителей и гранулометрический состав. Сравнение показателей качества воды в водоемах Пермского края за 2013 и 2016 гг. показало необходимость снижения содержания тяжелых металлов в воде, в том числе путем обезвоживания донных отложений методом геотубирования.

Библиографический список

1. Аджиенко В.Е. Очистка поверхностных водных объектов от донных отложений: причины заиливания и экономика проблемы // Вода: химия и экология. – 2010. – № 3. – С. 26–36.
2. Двинских С.А., Ларченко О.В., Березина О.А. Условия формирования донных отложений и их влияние на экосистему Мотовилихинского пруда г. Перми // Географический вестник. Гидрология. – 2017. – № 1. – С. 55–65. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-55-65
3. Субетто Д.А., Прыгкова М.Я. Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. – 89 с.
4. Есина Е.А. Гигиенические аспекты производства дноуглубительных работ, извлечения, транспортировки и утилизации донных отложений // Сотрудничество для решения проблемы отходов: сб. ст. IV Междунар. конф. – Харьков, 2007. – С. 290–291.
5. Бандурина И.П. Эколого-экономическая оценка современных технологий очистки сточных вод, применяемых на водохозяйственных предприятиях // Глобализация экономики и российские производственные предприятия: материалы 14-й Междунар. науч.-практ. конф. – Новочеркасск, 2016. – С. 145–149.

6. Ярыгина А.А., Ермолаев С.В., Орлова О.В. Очистка водных объектов от донных отложений // Экология производства. – 2010. – № 12. – С. 41–44.
7. Экспериментальное обоснование программы гигиенической оценки метода геотубирования при складировании осадков городских сточных вод / К.Б. Фридман, О.В. Мироненко, А.С. Белкин [и др.] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. – 2017. – Т. 12, № 2. – С. 202–211. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.209
8. Семенов Д.А., Калошина С.В. Инновационные технологии строительства искусственных островов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 4. – С. 80–92. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.08
9. Danaher Jason. Evaluating geotextile technology to enhance sustainability of agricultural production systems in the U.S. Virgin Islands // Aquaponics Journal. – 2008. – № 50. – P. 18–20.
10. Method of sewage sludge dewatering with the use of Geotube technique elements at the bortnichy aeration station / V.I. Kashkovsky, V.A. Evdokymenko, D.S. Kamensky [et al.] // Science and Innovation. – 2014. – Vol. 10, № 1. – P. 30–40.
11. Шабарова М.Е., Максимова С.В. Реабилитация городских водоемов с использованием технологии Geotube® // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3. – С. 87–91.
12. Shu-Wang Y., Jing C., Li-Qiang S. Methods for designing partially inflated Geotubes // Journal of Marine Science and Technology. – 2016. – Vol. 24, № 1. – P. 1–9. DOI: 10.6119/JMST-016-0125-1
13. Исследование влияния реагентной обработки на эффективность осаждения донных отложений озер при использовании технологии Geotube® / С.В. Максимова, А.В. Пешева, В.В. Фомина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 70–75.
14. Wangenstein M., Lafferty P., Kobler J.D. Innovative dewatering and water treatment techniques for hydraulically dredged sediments // Proceedings International Conference on Remediation of Contaminated Soils. – Venice, Italy, 2001. – P. 361–369.
15. Блохин С.А. Очистка водоемов с использованием технологии Geotube // Синергия наук. – 2017. – № 11. – С. 849–857.
16. Mastin B.J., Lebster G.E. Use of Geotube® dewatering containers in environmental dredging // Proceedings of the 18th world dredging congress. – Buena Vista, USA, 2007. – P. 1467–1486.
17. Geotextile tube dewatering of contaminated sediments / T.W. Yee, C.R. Lawson, Z.Y. Wang [et al.] // Geotextiles and Geomembranes. – 2012. – № 31. – P. 39–50. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2011.07.005
18. Green environmental solutions with geotextile tubes – two case studies: Wack-Wack, Philippines and Zutphen, Netherlands / R.J.M. Wortelboer, E.J. Westerhof, M. ter Hamsel [et al.] // Proceedings 5th European Geosynthetics Conference. – Valencia, Spain, 2012. – P. 588–592.
19. Техногенные биогеохимические процессы в Пермском крае / Н.Г. Максимович, Е.А. Ворончихина, Е.А. Хайрулина [и др.] // Геориск. – 2010. – № 2. – С. 38–45.

References

1. Adzhienko V.E. Ochistka poverhnostnyh vodnyh ob#ektov ot donnyh otlozhenij: prichiny zailivaniya i jekonomika problem [Purification of surface water bodies from bottom sediments: causes of siltation and economics of the problem]. *Voda: himija i jekologija*, 2010, no. 3, pp. 26–36.
2. Dvinskih S.A., Larchenko O.V., Berezina O.A. Uslovija formirovaniya donnyh otlozhenij i ih vlijanie na jekosistemu Motovilihinskogo pruda g. Permi [Conditions of formation of bottom sediments and their influence on the ecosystem of Motovilikhinsky pond in Perm]. *Geograficheskij vestnik. Gidrologija*. – 2017, no. 1, pp. 55–65. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-55-65
3. Subetto D.A., Prytkova M. Ja. Donnye otlozhenija raznotipnyh vodoemov. *Metody izucheniya*. [Bottom sediments of diverse reservoirs. Methods of study]. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2016. 89 pp: fig. 19, tab. 13. Bibliograf. 130 names.
4. Esina E.A. Gigenicheskie aspekty proizvodstva dnouglubitel'nyh rabot, izvlecheniya, transportirovki i utilizacii donnyh otlozhenij [Hygienic aspects of production of dredging, extraction, transportation and utilization of bottom sediments]: *sb. st. IV Mezhdunarodnoj konferencii «Sotrudnichestvo dlja reshenija problemy othodov»* / Har'kov, 31 january – 1 february 2007, pp. 290–291.

5. Bandurina I.P. Jekologo-jekonomicheskaja ocenka sovremennyh tehnologij ochistki stochnyh vod, primenjaemyh na vodohozhajstvennyh predpriyatiyah [Ecological and economic assessment of modern wastewater treatment technologies used in water management enterprises]: *materialy 14-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Globalizacija jekonomiki i rossijskie proizvodstvennye predpriyatiya»* / Novocherkassk. 2016, pp. 145-149.
6. Jarygina A.A., Ermolaev S.V., Orlova O.V. Ochistka vodnyh ob#ektov ot donnyh otlozhenij [Cleaning of water bodies from bottom sediments]. *Jekologija proizvodstva*, 2010, no. 12, pp. 41-44.
7. Fridman K.B., Mironenko O.V., Belkin A.S. [i dr.] Jeksperimental'noe obosnovanie programmy gigenicheskoy ocenki metoda geotubirovaniya pri skladirovanii osadkov gorodskih stochnyh vod [Experimental substantiation of the program of hygienic assessment of the method of geotubing in the storage of municipal sewage sludge]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Medicina*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 202–211. DOI: 10.21638/11701/spbu11.2017.209
8. Semenov D.A., Kaloshina S.V. Innovacionnye tehnologii stroitel'stva iskusstvennyh ostrovov [Innovative technology construction of artificial islands]. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture*. – 2016, vol. 7, no. 4, pp. 80-92. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.08
9. Danaher Jason Evaluating geotextile technology to enhance sustainability of agricultural production systems in the U.S. Virgin Islands // *Aquaponics Journal*, 2008, no. 50, pp. 18-20.
10. Kashkovsky V.I., Evdokymenko V.A., Kamensky D.S. [etc.] Method of sewage sludge dewatering with the use of Geotube technique elements at the bortnichy aeration station // *Science and Innovation*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 30-40.
11. Shabarova M.E., Maksimova S.V. Reabilitacija gorodskih vodoemov s ispol'zovaniem tehnologii Geotube® [Rehabilitation of urban water bodies using Geotube® technology]. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*, 2015, no. 3, pp. 87-91.
12. Maksimova S.V., Pesheva A.V., Fomina V.V. [i dr.] Issledovanie vlijanija reagentnoj obrabotki na jeffektivnost' osazhdenija donnyh otlozhenij ozer pri ispol'zovanii tehnologii Geotube® [Investigation of the effect of reagent treatment on sedimentation efficiency of lake bottom sediments using Geotube® technology] // *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2014, no. 6, pp. 70-75.
13. Wangenstein M., Lafferty P., Kobler J.D. Innovative dewatering and water treatment techniques for hydraulically dredged sediments. Proceedings International Conference on Remediation of Contaminated Soils, Venice, Italy, 2001, pp. 361-369.
14. Blohin S.A. Ochistka vodoemov s ispol'zovaniem tehnologii Geotube [Purification of reservoirs using Geotube technology]. *Sinergija nauk*, 2017, no. 11, pp. 849-857.
15. Mastin B.J., Lebster G.E. Use of Geotube® dewatering containers in environmental dredging. Proceedings of the 18th world dredging congress, Buena Vista, USA, 2007, pp. 1467-1486.
16. Yee T.W., Lawson C.R., Wang Z.Y. [etc.] Geotextile tube dewatering of contaminated sediments // *Geotextiles and Geomembranes*, 2012, no. 31, pp. 39-50. DOI: 10.1016/j.geotexmem.2011.07.005
17. Wortelboer R.J.M., Westerhof E.J., ter Hamsel M. [etc.] Green environmental solutions with geotextile tubes – two case studies: Wack-Wack, Philippines and Zutphen, Netherlands. Proceedings 5th European Geosynthetics Conference, Valencia, Spain, 2012, pp. 588-592.
18. Shu-Wang Y., Jing C., Li-Qiang S. Methods for designing partially inflated Geotubes // *Journal of Marine Science and Technology*, 2016, vol. 24, no. 1, pp. 1-9. DOI: 10.6119/JMST-016-0125-1
19. Maksimovich N.G., Voronchihina E.A., Hajrulina E.A. [i dr.] Tehnogennye biogeoхимические процессы в Пермском крае [Technogenic biogeochemical processes in the Perm region]. *Georisk*, 2010, no. 2, pp. 38-45.

Получено 19.12.2017

D. Semenov, V. Kleveko

THE USE OF GEOSYNTHETIC SHELLS FOR THE CLEANING OF WATER BODIES OF PERM TERRITORY FROM BOTTOM SEDIMENTS

The aim of the work was to study the peculiarities of dehydration of bottom sediments using geotube technology and to substantiate the possibility of using this method to improve water quality in water bodies of the Perm Territory.

In the course of studying the data of the Perm Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring for 2013, a significant content of heavy metals in water bodies was detected in the Perm Territory. The need to remove bottom sediments to improve the state of water bodies and provide the necessary depths has been identified. The study of the basic methods of dehydration of bottom sediments made it possible to choose the most rational solution to the problem of sediments' contamination – geotubing. The technology of the execution of works on dehydration of bottom sediments in geosynthetic shells is described. The experimental data on the cost of geotubing, optimal reagents, the required number of maintenance personnel and the reduction of various pollutants in bottom sediments after dehydration in geosynthetic shells are presented.

A cross-section of a geosynthetic shell is presented, which explains the formulas for calculating the forces and dimensions of the geosynthetic shell. The main directions of the use of bottom sediments are considered. Based on a comparison of the environmental state of water bodies in the Perm Territory for 2013 and 2016, it was concluded that it is necessary to clean bottom sediments. The possibility of using geosynthetic shells for this purpose has been analyzed.

Keywords: geosynthetic shell, bottom sediments, dehydration, geotubing, reagent, pulp, heavy metals.

Клевеко Владимир Иванович (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Семенов Дмитрий Александрович (Пермь, Россия) – студент, Пермский национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: s7dmit@yandex.ru).

Kleveko Vladimir (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

Semenov Dmitry (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: s7dmit@yandex.ru).