

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-3-38-43

УДК 504.06:622+504.06:622.271

**ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА  
ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОТУБ****ESTIMATION OF GEO-ECOLOGICAL RISK REDUCTION WHEN USING  
GEOTUBES FOR WASTEWATER TREATMENT****Дубинин Сергей Владимирович<sup>1,2</sup>**

начальник отдела сантехники и гидромеханизации, аспирант КузГТУ

e-mail: sergeydubinin@yandex.ru

**Sergey V. Dubinin**, Head of Sanitary Engineering Department, postgraduate student<sup>1</sup> ОАО "Кузбассгипрошахт", 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Островского, 34<sup>1</sup> Open Joint Stock Company "KuzbassGhiproShakht", 34, Ostrovskogo str., Kemerovo, 650000, Russian Federation<sup>2</sup> Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28<sup>2</sup> T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russian Federation**Аннотация:**

Каждое промышленное предприятие владеет геоэкологическим риском, связанным со сбросом не очищенных или недостаточно очищенных сточных вод. Высокая стоимость и сроки запуска капитальных очистных сооружений оставляют не решенным вопрос очистки сточных вод на период производства строительных работ на промплощадке, проходке стволов и инженерной подготовки разрезов. В таких случаях вероятность сброса сточных вод без очистки максимальна. Предложена концепция очистных сооружений сточных вод с применением мягких оболочечных конструкций – геотуб. Применение в качестве заполнителя геотуб современных сорбентов позволяет эффективно очищать сточные воды и снижать концентрации загрязнений до предельно-допустимых значений. Оценка снижения геоэкологического риска при применении геотуб оценена количественно по массе сброса загрязняющих веществ. Применение геотуб позволяет снизить сбросы, в одном из рассматриваемых случаев, на 11 тонн. Кроме того, выполнена оценка экономической эффективности применения геотуб для очистки сточных вод на период строительства капитальных очистных сооружений. Снижение платы за сброс стоков в водные объекты достигает 86%. Снижению геоэкологического риска также способствует оперативность сооружения локальных очистных сооружений на основе геотуб. Во многом это обусловлено отсутствием административных барьеров в виде получения разрешения на строительство.

**Ключевые слова:** сточные воды, мягкие оболочечные конструкции, геотуба, мобильные очистные сооружения, геоэкологическая безопасность.

**Abstract:**

Each industrial enterprise has an environmental risk associated with the discharge of untreated or insufficiently treated wastewater. In such cases, the probability of wastewater discharge without treatment is maximum. The problem of wastewater treatment during construction on the site, shaft sinking and land development of open-pit mines remains unsolved due to the high cost and commissioning dates of major treatment facilities. A concept of wastewater treatment facilities with the use of soft shell structure (geotubes) was proposed. The use of modern sorbents as a filter material in the geotube allows to effectively purify wastewater and reduce the concentration of pollution to the permissible values. The environmental risk reduction in the application of geotubes was assessed quantitatively by mass of discharged pollutants. Application of geotubes allows to reduce discharges, in one of the cases, by 11 tons. In addition, a cost-effectiveness assessment of geotubes used for wastewater treatment during the construction of major wastewater treatment facilities was carried out. Reduction of fee for discharge of effluents into water bodies reaches 86%. Also, the rapid pace of construction of sewage treatment plants on the basis of the geotubes helps to reduce the environmental risk. This is largely due to the lack of administrative barriers in the form of a building permit.

**Key words:** wastewater, soft shell structures, geotube, portable wastewater treatment facilities, geo-ecological safety

Таблица 1 – Концентрации веществ в сточной воде,  $C_1$ , мг/л  
Table 1 – Concentration of substances in the waste water,  $C_1$ , mg/l

Наименование по-казателя	Предприятие					ПДК <sub>р/х</sub> * [15]
	А	Б	В	Г	Д	
Марганец	0,042	0,03	0,05	0,0749	0,1	0,01
Нефтепродукты	0,072	0,04	0,02	0,181	0,05	0,05
Железо общее	0,572	0,15	0,38	0,287	0,1	0,1
Нитрат-ион	1,78	3,0	1,37	0,02	110	40

\* Норматив предельно допустимой концентрации вредного вещества в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

В целях привлечения внимания общества к вопросам экологического развития Российской Федерации, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности [1] проведен Год экологии.

В рамках международной выставки-форума "Экотех-2017" заместитель министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации Мурад Керимов рассказал ТАСС о предварительных итогах года по основным направлениям работы. В частности, "благодаря строительству и реконструкции очистных сооружений мы добились

ными предприятиями построены и реконструированы восемь очистных сооружений шахтных и карьерных вод, в том числе в модульном исполнении [3]. Бесспорно, это является положительным моментом. Однако очистные сооружения вводились в действие на уже действующих предприятиях. Вопрос заблаговременного строительства очистных сооружений до начала ведения строительных работ на промплощадках, проходки створов и инженерной подготовки на разрезах не решен окончательно.

Во многом это связано с высокой стоимостью

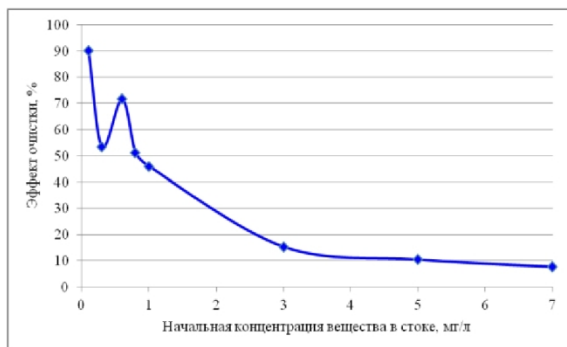


Рис. 1. Эффективность очистки от марганца  
Fig. 1. Manganese removal efficiency

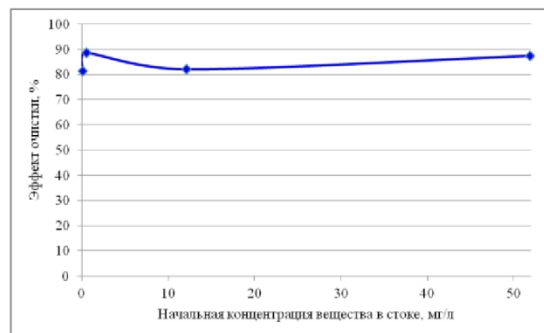


Рис. 2. Эффективность очистки от нефти  
Fig. 2. Oil removal efficiency

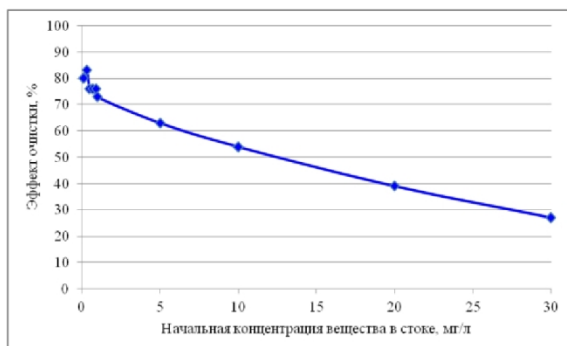


Рис. 3. Эффективность очистки от железа  
Fig. 3. Ferrum removal efficiency

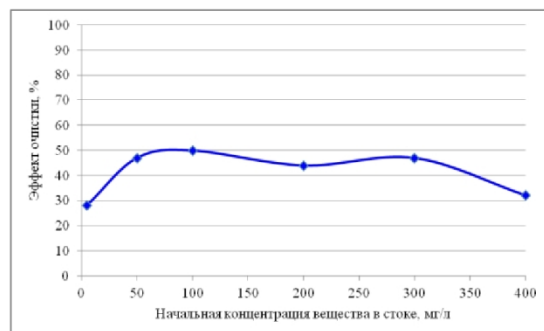


Рис. 4. Эффективность очистки от нитратов  
Fig. 4. Nitrate removal efficiency

уменьшения объема загрязняющих веществ, сбрасываемых в воду, на 40 тысяч тонн в год" [2].

Под эгидой Года экологии в Кузбассе уголь-

строительства капитальных очистных сооружений, рассчитанных на расходы сточных вод в период эксплуатации.

Таблица 2 – Прогнозные концентрации веществ в очищенных стоках

Table 2 – Expected concentration of substances in treated effluents

Наименование показателя	Предприятие										ПДК <sub>р/х</sub> <sup>*</sup> [15]
	А		Б		В		Г		Д		
	Э, %	С <sub>2</sub> , мг/л	Э, %	С <sub>2</sub> , мг/л	Э, %	С <sub>2</sub> , мг/л	Э, %	С <sub>2</sub> , мг/л	Э, %	С <sub>2</sub> , мг/л	
Марганец	90	0,004	90	0,003	90	0,005	90	0,008	90	0,010	0,010
Нефтепродукты	85	0,011	85	0,006	85	0,003	85	0,027	85	0,008	0,050
Железо общее	76	0,14	81	0,03	80	0,08	83	0,05	80	0,02	0,10
Нитрат-ион	25	1,34	26	2,22	25	1,03	22	0,02	49	56,10	40,00

Вместе с тем, в последнее время широкое распространение начинают приобретать модульные конструкции, являющиеся мобильными сооружениями, перемещение которых при необходимости возможно от объекта к объекту.

Положительный опыт эксплуатации очистных сооружений в контейнерном исполнении получили на предприятиях АО "СУЭК-Кузбасс" [3]. Мас-совое внедрение подобных очистных сооружений останавливает их относительно высокая стоимость и длительные сроки доставки (от полугода).

Для минимизации геоэкологического ущерба от сброса неочищенных стоков предлагается на период строительства капитальных очистных сооружений применять мобильные конструкции из геомембраны, спаянной в оболочку.

Принцип работы очистных сооружений на основе геотуб заключается в последовательной очистке от крупной фракции взвешенных веществ за счет гравитационного осаждения сопровождаемого истечением осветленной воды через поры геомембраны на первом этапе и фильтрования через сорбционную загрузку, облаченную геомембраной, на втором.

Технология очистки первого этапа с применением геотуб подробно рассмотрена в работах В.В. Миронова [4] и других авторов [5-8]. При условии наличия земель, более рациональным для осаждения взвешенных веществ видится строительство горизонтального отстойника.

Горизонтальный отстойник является классическим решением и позволяет осадить до 90% взвешенных веществ, в зависимости от размеров накопителя и фракционного состава взвесей [9].

На втором этапе очистки предлагается к применению мягкая оболочечная конструкция [10-14]. Емкость геотубы предварительно заполняется

сорбирующими веществами, за счет фильтрации через которые достигается окончательная очистка сточных вод от других загрязняющих веществ (тяжелых металлов, нефтепродуктов).

Оценка эффективности геотубы определена исходя из снижения платы за сверхлимитный сброс загрязненных веществ.

Для анализа приняты протоколы сточной (шахтной, карьерной) воды пяти строящихся объектов (таблица 1). По этическим соображениям указаны условные обозначения предприятий: шахты А и Б, разрезы В, Г и Д.

Остаточное содержание загрязняющих веществ С<sub>2</sub> в профильтрованной воде рассчитано по формуле (таблица 2)

$$C_2 = C_1 - C_1 \cdot \varepsilon / 100,$$

где С<sub>1</sub> – концентрация загрязняющего вещества в исходной воде, мг/л; Э – эффект очистки, %.

После очистки вода не достигает значений ПДК<sub>р/х</sub> [15] по железу общему (шахта А) и нитрат-иону (разрез Д). Доочистка возможна за счет пропуска воды через дополнительную геотубу, заполненную сорбентом (например, цеолитом).

Плату за сброс определяют по формуле:

$$P = 5 \sum_{i=1}^n S_i \cdot M_i,$$

где Р – плата за сверхлимитный сброс *i*-го загрязняющего вещества, руб.; S<sub>i</sub> – ставка платы за 1 тонну *i*-го загрязняющего вещества [17], руб./т; M<sub>i</sub> – масса сброса *i*-го загрязняющего вещества сверх установленного лимита, т.

Масса сброса (M<sub>б/о</sub> – без очистки; M<sub>п/о</sub> – после очистки) принята из расчета среднечасового расхода сточных вод по проектным данным и периода строительства капитальных очистных соору-

Таблица 3 – Масса загрязняющих веществ в сбрасываемом стоке, тонн

Table 3 – The mass of the pollutants discharged, tons

Наименование показателя	Предприятие									
	А		Б		В		Г		Д	
	M <sub>б/о</sub>	M <sub>п/о</sub>	M <sub>б/о</sub>	M <sub>п/о</sub>	M <sub>б/о</sub>	M <sub>п/о</sub>	M <sub>б/о</sub>	M <sub>п/о</sub>	M <sub>б/о</sub>	M <sub>п/о</sub>
Марганец	0,097	0,009	0,079	0,008	0,055	0,005	0,006	0,001	0,021	0,002
Нефтепродукты	0,167	0,026	0,106	0,016	0,022	0,003	0,013	0,002	0,011	0,002
Железо общее	1,326	0,325	0,397	0,079	0,416	0,088	0,021	0,004	0,021	0,004
Нитрат-ион	4,127	3,107	7,938	5,874	1,500	1,127	0,001	0,001	23,208	11,836
Итого	5,717	3,467	8,52	5,977	1,993	1,223	0,041	0,008	23,261	11,844

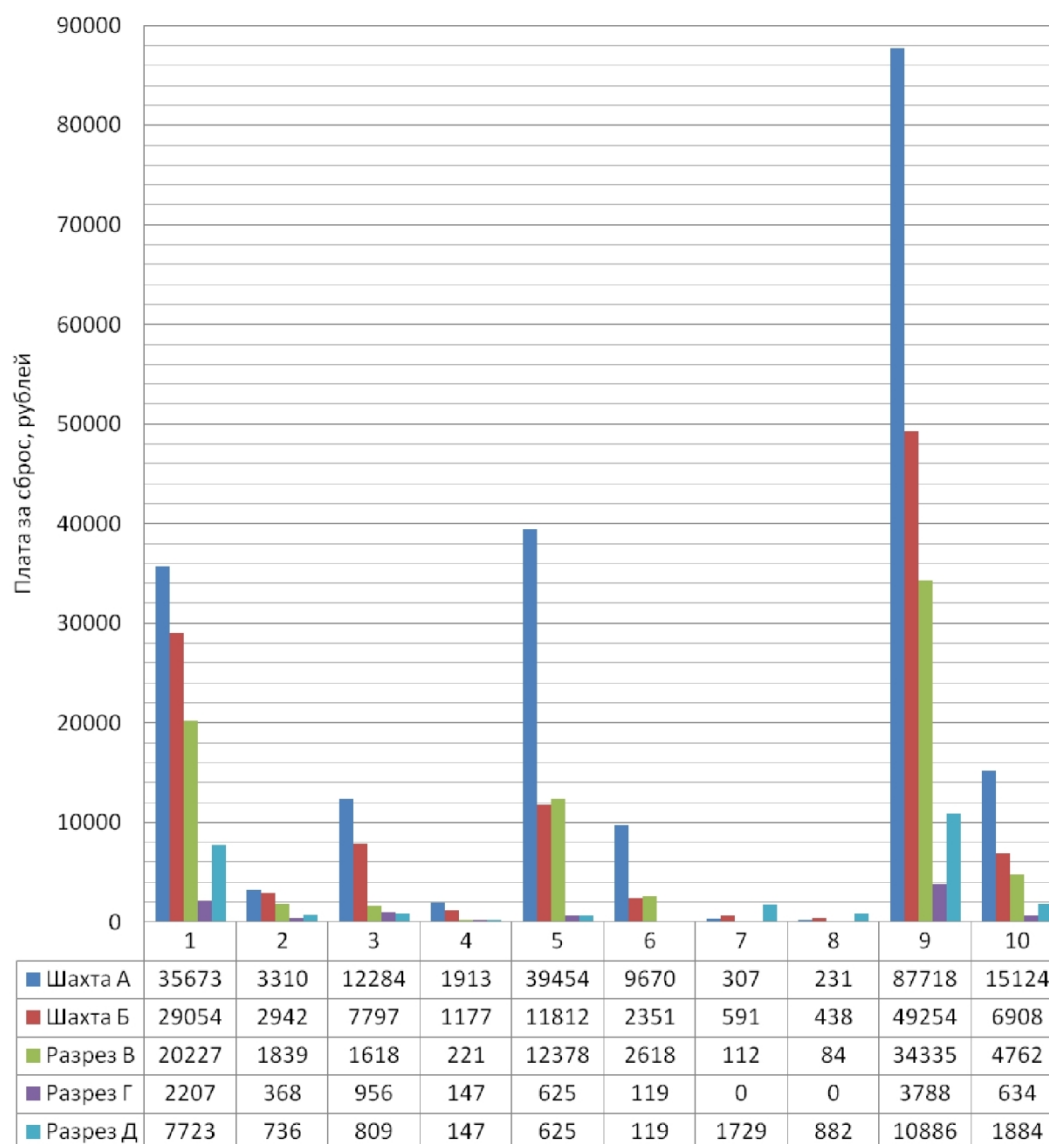


Рис. 5. Плата за сброс  
Fig. 5. Payment for discharge

жений (7 месяцев). Средний расход сточных вод принят прогнозируемый проектными решениями:

Предприятия	Объем сточных вод, м <sup>3</sup>
Шахты	
А	2318400
Б	2646000
Разрезы	
В	1094541
Г	73979
Д	210981

Масса загрязняющих веществ в сбрасываемом стоке (таблица 3) получена умножением концентрации вещества на объем сточных вод.

Расчет платы представлен в виде гистограммы (рис. 5), где нечетные номера столбцов соответствуют показателям платы без очистки, а четные после очистки за сброс соответственно: 1 (2) – марганца; 3 (4) – нефтепродуктов; 5 (6) – железа; 7 (8) – нитратов; 9 (10) – суммарная плата.

Анализ граф 9 и 10 гистограммы (рис. 5) наглядно показывает снижение платы за сброс стоков в водные объекты: для шахты А на 83%,

шахты Б – 86%, разреза В – 86%, разреза Г – 83%, разреза Д – 83%. При этом значительно минимизирован геоэкологический риск за счет снижения массы загрязняющих веществ, сбрасываемых в воду: на 2,250 т в случае шахты А, на 2,543 т для шахты Б, на 0,770 т для разреза В, на 0,033 т для разреза Г, на 11,417 т для разреза Д.

Корректный подбор сорбентов на основе пилотных испытаний на реальной воде позволяет эффективно очищать сточные воды и снижать концентрации загрязнений до предельно-допустимых значений.

Кроме того снижению геоэкологического риска способствует оперативность монтажа мягких оболочечных конструкций из геомембран. Устройство геотубы в течении нескольких дней, отсутствие объектов капитального строительства, простота конструкции позволяют организовать очистку шахтовых и карьерных вод, а также поверхностных сточных вод с промышленных пло-

щадок, в кратчайшие сроки, до выхода предприятия на проектную мощность.

Вместе с тем, без должного контроля со стороны природоохранных ведомств и ужесточения наказания за сброс загрязняющих веществ в окру-

жающую природную среду, возможно повторение в Кузбассе истории с рекой Томс [18], загрязнение которой привело к развитию кластера детских раковых заболеваний.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 05.01.2016 № 7 "О проведении в Российской Федерации Года экологии".
2. Носова А. В России подводят итоги Года экологии. Первый лесопромышленный портал [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.wood.ru/ru/lonewsid-77821.html>. [25.12.2017].
3. Кемеровская область: итоги года экологии. Сибирский бизнес-обозреватель RESFO.RU [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.resfo.ru/kef2013/13-power/news-state/16466-kemerovskaya-oblast-itogi-goda-ekologii.html>. [25.12.2017].
4. Использование мягких геосинтетических оболочечных конструкций в строительстве / В. В. Миронов, Д. В. Миронов, В. М. Чикишев, А. Ф. Шаповал. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 64 с.
5. Аджиенко В. Крупноразмерные замкнутые фильтрующие оболочки. Геотубы в строительстве, производстве и на защите окружающей среды / В. Аджиенко, И. Ладнер, Я. Тераудс. – Санкт-Петербург, 2012. – 344 с.
6. TenCate Geotube® Dewatering Container [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tencate.com/apac/geosynthetics/product/dewatering-technology/dewatering-container.aspx>. [12.09.2017].
7. Model Tests on Dredged Soil-Filled Geocontainers Used as Containment Dikes for the Saemangeum Reclamation Project in South Korea / Hyeong-Joo Kim, Ph.D., A.M.ASCE; Myoung-Soo Won, Ph.D.; Kwang-Hyung Lee; Jay C. Jamin. – DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000532, 2015.
8. Dewatering sewage sludge with geotextile tubes / Fowler, J; Bagby, R.M.; Trainer, E. Geotechnical Fabrics Report. – 1997. – № 15 – С. 26-30.
9. Гнедин К. В. "Режим работы и гидравлика горизонтальных отстойников", Киев, 1974.
10. Патент US 5232429A. Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material. J. Cizek, N. J. J. van Rensburg (ЮАП) – 03.08.1993.
11. Патент US 0129866A1. Geotextile tube. J. L. Smallwood, W. A. Smallwood (US) – 21.05.2009.
12. Патент US 006056438A. Geotextile container and method of producing same. A. S. Bradley (US) – 02.05.2000.
13. Патент US 7357598B1. Apparatus and method for deploying geotextile tubes. A. S. Bradley (US) – 15.04.2008.
14. ПМ 131640, РФ, МКИ B01D 29/11 (2006.01). Геотуба; Ф. И. Лобанов [и др.]. – Оpubл. в Б.И., 2013. – № 24.
15. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203).
16. Технический отчет по мероприятию "Исследование цеолитов из местного сырья с определением технических условий по их использованию при очистке карьерных вод", ООО "Цент Инженерных технологий", Барнаул, 2012.
17. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах".
18. Dan Fagin. Toms River: A Story of Science and Salvation – Island Press, Washington, D. C., 2013. – 560 с.

## REFERENCES

1. Ukaz Prezidenta RF ot 05.01.2016 № 7 "O provedenii v Rossiyskoy Federatsii Goda ekologii". (rus)
2. A. Nosova, V Rossii podvodyat itogi Goda ekologii. Pervy lesopromyshlenny portal [Elektronny resurs] – Available from: <http://www.wood.ru/ru/lonewsid-77821.html>. [25.12.2017]. (rus)
3. Kemerovskaya oblast: itogi goda ekologii. Sibirskiy biznes-obozrevatel [Elektronny resurs] – Available from: <http://www.resfo.ru/kef2013/13-power/news-state/16466-kemerovskaya-oblast-itogi-goda-ekologii.html>. [25.12.2017]. (rus)

4. Ispolzovaniye myagkikh geosinteticheskikh obolocheknykh konstruksiy v stroitelstve / V.V. Mironov, D.V. Mironov, V.M. Chikishev, A.F. Shapoval. – M. : Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2005. – 64 p. (rus)
5. V. Adzhienko, Krupnorazmernye zamknutyie filtruyushchiye obolochki. Geotuby v stroitelstve, proizvodstve i na zaschite okruzhayushchey sredy / V. Adzhienko, I. Ladner, YA. Terauds. – Sankt-Peterburg, 2012. – 344 p. (rus)
6. TenCate Geotube® Dewatering Container [Elektronnyj resurs] – Available from: <http://www.tencate.com/apac/geosynthetics/product/dewatering-technology/dewatering-container.aspx>. [12.09.2017]. (rus)
7. Model Tests on Dredged Soil-Filled Geocontainers Used as Containment Dikes for the Saemangeum Reclamation Project in South Korea / Hyeong-Joo Kim, Ph.D., A.M.ASCE; Myoung-Soo Won, Ph.D.; Kwang-Hyung Lee; Jay C. Jamin. – DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000532, 2015.
8. Dewatering sewage sludge with geotextile tubes / Fowler, J.; Bagby, R.M.; Trainer, E. Geotechnical Fabrics Report. – 1997. – № 15 – P. 26-30.
9. K.V. Gnedin "Rezhim raboty i gidravlika gorizontalnykh otstojnikov", Kiev, 1974.
10. Patent US 5232429A. Method and apparatus for making a continuous tube of flexible sheet material. J. Cizek, N. J. J. van Rensburg (IOAP) – 03.08.1993.
11. Patent US 0129866A1. Geotextile tube. J. L. Smallwood, W. A. Smallwood (US) – 21.05.2009.
12. Patent US 006056438A. Geotextile container and method of producing same. A. S. Bradley (US) – 02.05.2000.
13. Patent US 7357598B1. Apparatus and method for deploying geotextile tubes. A. S. Bradley (US) – 15.04.2008.
14. Patent RU 131 640 U1, B01D 29/11 (2006.01). Geotuba; F. I. Lobanov [i dr.]. – Opubl. v B.I., 2013. – № 24. (rus)
15. Priказ Minselhoza Rossii ot 13.12.2016 № 552 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybohozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predelno dopustimyykh kontsentratsy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybohozyaystvennogo znacheniya" (Zaregistrirovano v Minyuste Rossii 13.01.2017 № 45203). (rus)
16. Tekhnicheskij otchet po meropriyatiyu "Issledovanie ceolitov iz mestnogo syrya s opredeleniem tekhnicheskikh usloviy po ikh ispolzovaniyu pri ochistke karyernykh vod", ООО "Cent Inzhenernykh tekhnologij", Barnaul, 2012. (rus)
17. Postanovlenie Pravitelstva RF ot 13.09.2016 № 913 "O stavkakh platy za negativnoye vozdeystviye na okruzhayushchuyu sredyu i dopolnitelnykh koeffitsientakh". (rus)
18. Dan Fagin. Toms River: A Story of Science and Salvation – Island Press, Washington, D. C., 2013. – 560 p.

Поступило в редакцию 19.07.2018

Received 19.07.2018