

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

Магомедов Х.К.¹, Фридман К.Б.², Белкин А.С.¹, Носков С.Н.¹**ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТОДА ГЕОТУБИРОВАНИЯ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ**¹ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург;²ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург

В статье обосновывается гигиеническая оценка эффективности геотубирования как технологии, позволяющей обезвредить осадки сточных вод. В качестве объекта исследования выбран комплекс иловых площадок Северной станции аэрации ГУП «Водоканал СПб», расположенный в п. Новоселки г. Санкт-Петербурга, на которых были проведены испытания технологии геотурбирования – процесса созревания осадков очистных сооружений, обработанных добавлением химических веществ-комплексов, в закрытых пластиковых мешках с микropорами в течение одного года. В работе применены санитарно-химические, токсикологические, паразитологические, бактериологические, радиологические методы. В результате исследований продемонстрировано связывание ионных форм экотоксикантов, которое обеспечивает экологическую безопасность. Гельминтологические и бактериологические исследования подтвердили эпидемическую безопасность продукта, получаемого геотубированием. Геотубирование является наиболее перспективной технологией обращения с накопленными на иловых площадках осадками сточных вод. Особенности технологии геотурбирования являются естественное обезвоживание осадка за счет выдавливания влаги из геотубы под весом самого осадка, а также снижение выбросов образующихся газов в атмосферу благодаря полному отсутствию контакта осадка с атмосферным воздухом. Кроме того, затаренный в пластиковые мешки-геотубы, осадок может долго храниться без ухудшения экологической и гигиенической ситуации.

Ключевые слова: экологическая безопасность; утилизация осадков сточных вод; геотубирование; обезвоживание; экотоксиканты; тяжелые металлы; Санкт-Петербург.

Для цитирования: Магомедов Х.К., Фридман К.Б., Белкин А.С., Носков С.Н. Экспериментальное обоснование гигиенической оценки метода геотубирования осадков городских очистных сооружений канализации. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(7): 623-626. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-623-626>

Для корреспонденции: Магомедов Хамзат Курбанович, ассистент каф. коммунальной гигиены, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, Санкт-Петербург. E-mail: xamzat1985@mail.ru

Magomedov Kh.K.¹, Fridman K.B.², Belkin A.S.¹, Noskov S.N.¹**EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE HYGIENIC ASSESSMENT METHOD OF THE GEOTUBING OF DEPOSITS FROM URBAN SEWAGE TREATMENT FACILITIES**¹North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, 195067, Russian Federation;²North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation

Every day in the city of St. Petersburg there is formed more than 10,000 m³ of sewage sludge. The main mass of deposits is stored at the landfill for storing waste with an area of up to 150 hectares. Toxic substances and pathogens contained in sediments can penetrate into the environment stipulating the significant pollution of the environment. In the arsenal of technologists dealing with the problem of sewage sludge disposal, there are numerous approaches and solutions, for instance: drying sludge, incineration, composting, vermicomposting, eco-concrete fixation. However, tried everything methodological approaches have not found their applications because of the impossibility of decrease in toxicity due to the presence of substances in the resulting substance of 1st and 2nd classes of danger, having a translocation mechanism of transition in plants. And, nevertheless, the problem of sewage sludge cannot be solved by used approaches because of the high toxicity caused by the presence of substances of the 1st and 2nd hazard classes in the obtained substance, for which the translocation mechanism of environmental contamination is characteristic. The aim of our work is the substantiation of the hygienic safety of the utilization of products obtained by geotube technology from deposits at the Northern Station for aeration «Vodokanal-SPb» in road construction. As the object of research there was selected the complex of sludge lagoons of the Northern Station for aeration «Vodokanal-SPb» located in the village of Novosilky. Sanitary-chemical, toxicological, parasitological, bacteriological, radiological. It is possible to observe the binding of ionic forms of ecotoxicants, transition of them to a bound state, which provides for the environmental safety. Helminthological and bacteriological studies show the epidemic safety of the product obtained by geotubing. Geotube technology seems to be the most promising in the treatment of accumulated sludge beds on sewage sludge.

Key words: sewage sludge; geotubing; dehydration; ecotoxicants; heavy metals.

For citation: Magomedov Kh.K., Fridman K.B., Belkin A.S., Noskov S.N. Experimental substantiation of the hygienic assessment method of the geotubing of deposits from urban sewage treatment facilities. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(7): 623-626. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-623-626>

For correspondence: Khamzat K. Magomedov, assistant at the Department of Communal Hygiene of the North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, 195067, Russian Federation. E-mail: xamzat1985@mail.ru

Information about authors:Magomedov Kh.K., <http://orcid.org/0000-0002-1521-5511>; Fridman K.B., <http://orcid.org/0000-0001-7189-0141>;Noskov S.N., <http://orcid.org/0000-0001-7971-40562>; Belkin A.S., <http://orcid.org/0000-0001-9258-3888>.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 15.03.17

Accepted: 05.07.17

Введение

В числе наиболее важных систем функционирования населенных пунктов закономерно значится канализация сточных вод, объем которых непрерывно растет, особенно в крупных городах [1]. В результате очистки сточных вод образуются осадки, которые являются одним из главных негативных факторов антропогенного воздействия на окружающую среду [2].

В условиях интенсивного развития промышленности и увеличения численности городского населения количество осадков сточных вод имеет тенденцию к постоянному росту. В Европе и Северной Америке ежегодный объем образующихся осадков сточных вод составляет 40 млн тонн по сухому веществу [3]. В индустриальных и развивающихся странах на одного жителя приходится в среднем 19 кг осадков сточных вод в пересчете на сухое вещество в год, или 52 г в сутки. Во Франции на одного жителя ежегодно приходится 100 кг осадков сточных вод. В Российской Федерации количество осадков сточных вод составляет $2,5 \cdot 10^6$ тонн в год [4].

Поэтому проблема удаления осадков сточных вод с территории очистных сооружений, их обработки и утилизации является одной из сложнейших экологических проблем во всем мире [5].

Не находя рационального применения и безопасного способа утилизации, осадки городских сточных вод вывозят и складировать на специально отведенных участках, что требует отчуждения больших земельных территорий в пригородных зонах [6].

Осадки сточных вод, как правило, содержат токсичные вещества и патогенные микроорганизмы, которые способны проникать в сопредельные среды, загрязняя их и ухудшая санитарно-гигиенические условия [7]. Высока вероятность смыва, особенно в паводковый период, осадков в поверхностные водоемы, что приводит к их загрязнению и усложнению процессов водоподготовки [8].

Принципы очистки сточных вод схожи во всех странах, тогда как методы обращения с образующимися осадками сточных вод отличаются для каждой страны и каждого крупного

города, что определяет различные подходы в оценке их гигиенической безопасности [9]. Однако во всем мире при решении проблемы образующихся осадков сточных вод на первый план выходит экономическая составляющая. Выгоднее и проще осадки складировать, сжигать, сбрасывать в водоемы, использовать в качестве удобрений или для рекультивации нарушенных земель [2, 10].

Основным направлением использования осадков за рубежом служит применение их в сельском хозяйстве в качестве удобрения (в среднем 32,4%). В Люксембурге с этой целью используют 90% годового выхода осадка, в Швейцарии – 70%, Германии – 38%, Франции – 23%, Бельгии – 10%. Относительно низкий процент использования осадков сточных вод в земледелии некоторых стран объясняется прежде всего недостаточной изученностью воздействия содержащихся в них нежелательных веществ на здоровье человека и животных, взаимовлияния осадка и природной среды, а также недостаточной разработкой методов контроля [11–14].

В Российской Федерации до середины 80-х годов XX века считалось, что обезвоженные осадки, образующиеся на городских станциях аэрации, по своим характеристикам не уступают навозу, поэтому они использовались в качестве удобрения для сельского хозяйства. В 1985 г. вывоз их на поля был прекращен из-за повышенного содержания токсичных тяжелых металлов, в основном меди, хрома, цинка, никеля, ртути, свинца, кадмия [15, 16].

В Санкт-Петербурге осадки сточных вод содержат большие количества экотоксикантов, что не позволяет применять их как удобрение в сельском хозяйстве. Использование распространенного и несложного метода складирования осадков на полигонах твердых бытовых отходов в Санкт-Петербурге затруднено из-за высокого уровня стояния грунтовых вод, сложных климатических условий и отсутствия необходимых площадей для размещения [17].

С учетом такой ситуации, а также череды неудачных попыток использования российских технологий представилось целесообразным обратиться к опыту зарубежных стран. Из большого многообразия имеющихся подходов к обращению с осадками сточных вод была выбрана французская технология сжигания их в псевдооживленном слое Ruгоfluid. В 1997 г. на Центральной станции очистки сточных вод Санкт-Петербурга был построен первый в Российской Федерации завод по сжиганию осадка сточных вод. В 2007 г. технология Ruгоfluid была внедрена еще на двух станциях очистки сточных вод города.

Опыт работы, накопленный за период эксплуатации этих предприятий, позволяет говорить о том, что в целом данное производство справляется с задачами глубокой утилизации осадков, получаемых на станциях очистки сточных вод. В настоящее время Санкт-Петербург является городом, в котором обезвоженный осадок канализационных очистных сооружений не складировается, а сжигается и вывозится в виде золы на полигоны. Успешное применение новой технологии избавило администрацию Санкт-Петербурга от необходимости ежегодного выделения для складирования опасных отходов 8–10 га дорогостоящей территории.

Несмотря на значительные успехи в разработке технологий утилизации коммунальных отходов, проблему обращения с осадками сточных вод нельзя считать решенной, в первую очередь из-за уже накопленных и размещенных на специально оборудованных полигонах осадков сточных вод. В Санкт-Петербурге эксплуатируются два полигона общей площадью 118,7 га – «Северный» и «Волхонка-2», на которых уже складировано 4,9 млн м³ осадка, и емкости переполнены.

В целях обработки и обезвреживания накопленных на полигонах осадков сточных вод в 2007 г. ГУП «Водоканал-СПб» внедрило на полигоне «Северный» технологию геотубирования. Суть

Таблица 1

Сравнительные данные содержания экотоксикантов в осадках в ходе геотубирования, мг/кг

Экотоксикант	Валовое содержание вещества			Подвижные формы вещества		
	ПДК, ОДК для сульфидов (рН > 5,5)	Осадок		ПДК	Осадок	
		сырой	после геотубирования		сырой	после геотубирования
Кадмий	2,0	39,0	38,0	–	40,0	<0,1
Кобальт	–	2,7	1,2	5,0	3,3	<1,0
Марганец	1500	181,0	123,0	400,0	–	87,0
Медь	132,0	1206,0	90,0	3,0	4,1	<1,0
Мышьяк	5,6	5,6	1,8	–	–	–
Никель	80,0	37,0	18,0	4,0	24,7	<1,0
Ртуть	2,1	1,6	0,56	–	0,0075	–
Свинец	130,0	98,0	23,0	6,0	7,3	<1,0
Хром общий	–	23,0	8,7	–	4,3	1,0
Цинк	220,0	516,0	464,0	23,0	245,0	5,0
Нефтепродукты	не более 1000	197,0	29,0	–	–	–
Бензапирен	0,02	0,59	0,084	–	–	–
Суммарный показатель	–	366,4	254,1	–	–	–

Примечание. ПДК и ОДК приведены в соответствии с действующими нормативами: ГН 2.1.7.2041–06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19.01.2006; ГН 2.1.7.2511–09 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 18.05.2009.

Таблица 2

Динамика показателей токсичности осадков в ходе геотубирования, %

Проба	Острая токсичность				Класс опасности
	Тест-организм <i>Daphnia magna Straus</i>		Тест-культура <i>Chlorella vulgaris Beijer</i>		
	норма	факт	норма	факт	
Сырой осадок	< 10	7	< 20	18	3
Продукт геотубирования	< 10	3	< 20	12	5

технологии заключается в том, что сырой осадок вместе с реагентами, которые обеспечивают связывание подвижных форм металлов, дезинфекцию, стабилизацию осадка, закачивается в геотубу – емкость из пластика с микропорами. Обезвоживание осадка осуществляется за счет физического «выдавливания» влаги из мешка.

Осадок хранится в геотубе не менее года, в течение этого времени происходят процессы биологического компостирования и химической нейтрализации с большей эффективностью, чем в условиях обычного хранения на полигонах. Хранение в геотубе также позволяет значительно сократить объемы осадков за счет естественного обезвоживания.

Материал и методы

Для обоснования гигиенической оценки эффективности геотубирования как технологии, позволяющей обезвредить осадки сточных вод, использовались санитарно-химические, токсикологические, гельминтологические, бактериологические, радиационные методы исследования.

Результаты

В осадках сточных вод Санкт-Петербурга содержание экотоксикантов в виде солей тяжелых металлов, особенно меди и цинка, значительно превышает нормативные значения содержания этих веществ в почвах селитебных территорий. Такое

Результаты бактериологических исследований осадка сточных вод и продукта геотубирования

Проба	Сырой осадок	Продукт геотубирования
Индекс БГКП	< 10	< 10
Индекс энтерококка	< 10	< 10
Патогенные бактерии	0	0

Примечание. БГКП – бактерии группы кишечной палочки.

положение объясняется общесплавной системой канализации, принятой в городе, сбросом промышленных стоков и подтверждается относительно невысоким содержанием экотоксикантов, не используемых в промышленном производстве (мышьяк, кобальт, ртуть). После годичного «созревания» осадков в геотубах валовые содержания экотоксикантов изменяются за счет образования стойких комплексов с органическим субстратом. Однако этот процесс выражен неодинаково для анализируемых экотоксикантов. В частности, практически не меняется содержание кадмия (табл. 1); незначительно меняется содержание кобальта (в 2,25 раза), марганца (в 1,47 раза), цинка (в 1,1 раза); значительно – меди (в 13,4 раза).

Следует отметить, что валовые содержания таких элементов, как кадмий, цинк, бензапирен, после геотубирования были значительно выше гигиенических нормативов для почв селитебных территорий, тогда как концентрации марганца, мышьяка, никеля, ртути, свинца, нефтепродуктов не превышали нормативных значений. Суммарный показатель токсичности уменьшился в 1,44 раза.

Динамика снижения валовых концентраций микроэлементов составила, в среднем, 50%. Таким образом, можно говорить об эффективности процессов, происходящих в геотубе, хотя и не по всем токсикантам.

Однако следует помнить, что технология геотубирования прежде всего предусматривает связывание ионных форм токсикантов, тем самым обеспечивая экологическую безопасность, что и подтверждается динамикой содержания подвижных форм анализируемых веществ. С уверенностью можно говорить о практически полном обезвреживании осадка в отношении подвижных форм экотоксикантов: по ряду показателей, в частности по кадмию, кобальту, меди, никелю, их содержание снизилось ниже предела обнаружения.

Таблица 3

Результаты определения токсических эффектов на теплокровных животных

Токсическое действие	Результат	Основание для оценки
Острая токсичность при парентеральном введении	летальность отсутствует	Методы определения токсичности и опасности химических веществ (токсикометрия) / Под ред. Саночко И.В. – М.: «Медицина», 1970
Раздражающее действие на кожу, глаза	не выявлено	МУ 2102–79 ¹
Сенсибилизирующее действие	не выявлено	МР 10-8/94 ²
Кожно-резорбтивное действие	не выявлено	МУ 2102–79 ³
Ингаляционная токсичность	отсутствует	МУ 2163–80 ⁴
Индекс токсичности на сперме быка	в пределах нормы	МР 2.1.7.2279–07 ⁵

Примечание. ¹ МУ 2102–79 «Оценка воздействия вредных химических соединений на кожные покровы и обоснование предельно допустимых уровней загрязнений кожи», утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 01.11.1979.

² МР 10-8/94 «Методы лабораторной специфической диагностики профессиональных аллергических заболеваний химической этиологии», утв. Минздравом СССР 25.12.1979.

³ МУ 2102–79 «Оценка воздействия вредных химических соединений на кожные покровы и обоснование предельно допустимых уровней загрязнений кожи», утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР 01.11.1979.

⁴ МУ 2163–80 «Методические указания к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны», утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 04.04.1980.

⁵ МР 2.1.7.2279–07 «Экспресс-оценка токсичности отходов производства и потребления на культуре клеток млекопитающих», утв. Роспотребнадзором 24.09.2007.

Принимая во внимание, что именно токсикологическая характеристика осадка сточных вод является основным препятствием к его утилизации, были проведены токсикологические исследования – биотестирование на различных объектах живой природы (простейших, тест-культуре и теплокровных животных). Результаты приведены в табл. 2 и 3.

Гельминтологические и бактериологические исследования свидетельствуют об эпидемиологической безопасности продукта, получаемого с помощью технологии геотубирования (табл. 4).

Следует отметить, что длительный процесс геотубирования схож с процессами, происходящими при естественном компостировании осадков, но за счет биологических аэробных и анаэробных процессов разложения имеет больший эффект обеззараживания, независимый от применяемых для этого реагентов.

В отличие от технологии сжигания осадка, геотубирование приводит не к увеличению показателей удельной активности радия-226, тория-232, калия-40, цезия-137, стронция-90 (за счет уменьшения удельного веса золы), а к их уменьшению.

Выводы

1. Принимая во внимание особенность современных жестких, обобщенных подходов в области нормативного регулирования качества почв сели-

тебных территорий, практическое использование продуктов, созданных на основе отходов коммунальных очистных сооружений, в настоящее время испытывает значительные трудности.

2. Однако так как санитарные правила распространяют свое действие исключительно на территорию населенных мест, использование продукта геотубирования без угрозы экологической и гигиенической безопасности в почвообразовании возможно при конкретизации мест и условий, а именно в ходе строительных работ по благоустройству откосов земляных насыпей автомобильных дорог, рекультивации земель.

3. Исходя из вышесказанного, метод геотубирования является наиболее перспективным способом обработки осадков сточных вод, накопленных на иловых площадках. Возможно, разработка и внедрение в практику нормативной гигиенической базы для конкретной технологии открыли бы новые возможности для широкого применения продуктов геотубирования в городском хозяйстве.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (пп. 13, 14 см. References)

1. Кармазинов Ф.В., Пробирский М.Д., Васильев Б.В. Опыт водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2002; (12): 13–5.
2. Русаков Н.В., Рахманин Ю.А. *Отходы, окружающая среда, человек*. М.; 2005.
3. Герасимов Г.Н. BIOLYSIS – способ сокращения объема осадков сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2006; (5): 41–4.
4. Щербо А.П. *Управление отходами населенных мест: эколого-гигиенические аспекты*. СПб.: СПбМАПО; 2002.
5. Аграноник Р.Я. Проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 1995; (1): 2–3.
6. Медведев А.С., Стрижко В.С. Обезвреживание осадков городских станция аэрации. *Экология и промышленность России*. 2002; (5): 31–4.
7. Семенова В.В., Чернова Г.И., Воробьева Л.В. Эколого-гигиеническая оценка продуктов утилизации лигнинных отходов. *Гигиена и санитария*. 2001; 80(6): 14–6.
8. Фридман К.Б. Гигиена водных объектов, водоснабжение и здоровье населения. В кн.: Баев А.С., Сорокин Н.Д., ред. *Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге за 1980–1999 годы*. СПб.; 2000.
9. Латыпова В.З., Селивановская С.Ю. Осадки сточных вод как потенциальный источник генетической опасности. В кн.: *Тезисы докладов конференции «Вопросы генетической опасности в Республике Татарстан»*. Казань; 1997: 21–2.
10. Мирный А.Н. Критерии выбора технологии обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов. *Чистый город*. 1998; (1): 8–15.
11. Почва, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля. Материалы конференции. Пенза; 1996.
12. Хозяйственно-питьевая и сточные воды: проблемы очистки и использования. Материалы международной научно-практической конференции. Пенза; 1996.
13. Губанов Л.Н., Котов А.В., Бояркин Д.В. Использование осадков городских сточных вод Нижнего Новгорода для повышения плодородия почв. *Экологические технологии и инновации*. 2005; (1): 66–9.
14. Короткова Н.А. Централизованное компостирование осадков сточных вод. *Водоснабжение и канализация: экспресс-информация*. 1990; (14): 1–3.

15. Васильев Б.В. Обработка и утилизация осадков сточных вод в Санкт-Петербурге. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2006; (9): 58–62.

References

1. Karmazinov F.V., Probirskiy M.D., Vasil'ev B.V. The experience of Vodokanal of St. Petersburg on processing and utilization of precipitation. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2002; (12): 13–5. (in Russian)
2. Rusakov N.V., Rakhmanin Yu.A. *Waste, Environment, People. [Otkhody, okruzhayushchaya sreda, chelovek]*. Moscow; 2005. (in Russian)
3. Gerasimov G.N. BIOLYSIS – a way to reduce the volume of sewage sludge. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2006; (5): 41–4. (in Russian)
4. Shcherbo A.P. *Waste Management in Populated Areas: Ecological and Hygienic Aspects [Upravlenie otkhodami naselennykh mest: ekologo-gigienicheskie aspekty]*. St. Petersburg: SPbMAPO; 2002. (in Russian)
5. Agranonik R.Ya. Problems of treatment and utilization of sewage sludge. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 1995; (1): 2–3. (in Russian)
6. Medvedev A.S., Strizhko B.C. Neutralization of the precipitation of the urban aeration station. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2002; (5): 31–4. (in Russian)
7. Semenova V.V., Chernova G.I., Vorob'eva L.V. Ecological and hygienic assessment of lignite waste utilization products. *Gigiena i sanitariya*. 2001; 80(6): 14–6. (in Russian)
8. Fridman K.B. Hygiene of water bodies, water supply and public health. In: Baev A.S., Sorokin N.D., eds. *Environmental Protection, Nature Management and Environmental Safety in St. Petersburg for 1980–1999 [Okhrana okruzhayushchey sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti v Sankt-Peterburge za 1980–1999 gody]*. St. Petersburg; 2000. (in Russian)
9. Latypova V.Z., Selivanovskaya S.Yu. Sewage sludge as a potential source of genetic hazard. In: *Abstracts of the Conference «Issues of Genetic Hazard in the Republic of Tatarstan» [Tezisy докладov konferentsii «Voprosy geneticheskoy opasnosti v Respublike Tatarstan»]*. Kazan'; 1997: 21–2. (in Russian)
10. Mirnyy A.N. Criteria for selection of technology for neutralization and processing of solid domestic waste. *Chisty gorod*. 1998; (1): 8–15. (in Russian)
11. *Soil, Production and Consumption Wastes: Problems of Protection and Control. Conference Materials. [Pochva, otkhody proizvodstva i potrebleniya: problemy okhrany i kontrolya. Materialy konferentsii]*. Penza; 1996. (in Russian)
12. *Household-drinking and Waste Water: Problems of Cleaning and Use. Materials of the International Scientific-Practical Conference [Khozyaystvenno-pit'evaya i stochnye vody: problemy ochkistki i ispol'zovaniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii]*. Penza; 1996. (in Russian)
13. Axley J.H. *Criteria and Recommendations for Land Application of Sludge in the North-East. Vol. 851*. University Park; 1985.
14. Crommentuijn G.H., Van de Plassche E.J., Canton J.H. *Guidance on the Derivation of Ecotoxicological Criteria for Serious Soil Contamination in View of the Intervention Value for Soil Clean-up. RIVM Rapport 950011003*. Bilthoven; 1994.
15. Gubanov L.N., Kotov A.V., Boyarkin D.V. Use of urban sewage sludge in Nizhny Novgorod to improve soil fertility. *Ekologicheskie tekhnologii i innovatsii*. 2005; (1): 66–9. (in Russian)
16. Korotkova N.A. Centralized composting of sewage sludge. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya: ekspress-informatsiya*. 1990; (14): 1–3. (in Russian)
17. Vasil'ev B.V. Treatment and utilization of sewage sludge in St. Petersburg. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2006; (9): 58–62. (in Russian)