

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

ШИРЯКОВА Т.А.*, БУРАК И.И.*, ДРОЗДОВА Е.В.***, ФИРАГО А.В.***, ГОЛОВНЕВ И.Э.***, ГРИГОРЬЕВА С.В.*

*УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», Республика Беларусь

**РУП «Научно-практический центр гигиены», Республика Беларусь

***УП «Витебскводоканал», Республика Беларусь

Резюме.

В статье представлены результаты оценки экотоксичности сточных вод, обработанных электролизным раствором гипохлорита натрия и электрохимически активированным раствором анолита нейтрального. Биотестирование проводили с использованием батареи тестов, состоящей из водных организмов различных уровней организации: водорослей *Chlorella vulgaris*, ракообразных *Daphnia magna* (Cladocera) и бактериального люминесцентного теста. Проведенные экспериментальные исследования по оценке экотоксичности сточных вод, обработанных растворами электролизного гипохлорита натрия и электрохимически активированного анолита из расчета содержания остаточного хлора в пределах концентраций хлора, регламентируемых действующими санитарными нормами и правилами, свидетельствуют об отсутствии экотоксичности предложенных методов обработки. Показана необходимость проведения биотестирования для оценки экологической безопасности методов обеззараживания сточных вод. Представлены результаты эффективности обеззараживания сточных вод электролизными и электрохимически активированными растворами по бактериологическим показателям. Проведено определение остаточного (общего, свободного и связанного) хлора в сточной воде после обеззараживания электролизными и электрохимически активированными растворами. Приводится анализ хлорпоглощаемости сточных вод при дезинфекции сточных вод анолитом нейтральным и гипохлоритом натрия. Отмечено, что традиционно применяемые методы дезинфекции сточных вод (хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое обеззараживание) имеют существенные недостатки. Анолит нейтральный и гипохлорит натрия сочетают положительные свойства известных оксидантов – хлора, ультрафиолета и озона и устраняют отрицательные моменты, присущие каждому из названных реагентов в отдельности, т.е. исключено образование побочных продуктов хлорирования и озонирования. Данные растворы обладают высокими бактерицидными, фунгицидными, спороцидными, вирулоцидными эффектами, а также низкой коррозионной и деструктивной активностью по отношению к изделиям из различных материалов.

Ключевые слова: анолит, гипохлорит натрия, безопасность, эффективность.

Abstract.

The results of the assessment of ecological toxicity of sewage treated with the electrolysis solution of sodium hypochlorite and the electrochemically activated solution of neutral anolyte are presented in this article. Biotesting was conducted with the usage of a number of tests consisting of water organisms of various organization levels: water-plant *Chlorella vulgaris*, crustacea *Daphnia magna* (Cladocera) and bacterial luminescent test. The conducted experimental researches, regulated by operating sanitary norms and rules, testify to the absence of ecological toxicity of the offered methods of treatment. The necessity of biotesting for the assessment of ecological safety of sewage disinfection has been shown. The results of efficiency of sewage disinfection with the electrolysis and electrochemically activated solutions in accordance with bacteriological indices have been presented. The determination of residual (general, free and bound) chlorine in sewage after disinfection with the electrolysis and electrochemically activated solutions has been performed. The analysis of sewage chlorine absorptivity on disinfection of sewage with neutral anolyte and sodium hypochlorite has been made. It has been noticed, that traditionally applied methods of sewage disinfection (chlorination, ozonizing, ultraviolet disinfection) have

essential drawbacks. Neutral anolyte and sodium hypochlorite combine positive properties of the known oxidants - chlorine, ultraviolet and ozone and eliminate negative moments intrinsic to each of them taken separately, i.e. the formation of by-products of chlorination and ozonizing is excluded. The solutions in question possess high bactericidal, virucidal, sporocidal, fungicidal properties, and also low corrosion and destructive activity in relation to products from various materials.

Key words: anolyte, sodium hypochlorite, safety, efficiency.

Вода – ценнейший природный ресурс. Она играет исключительную роль в процессах обмена веществ, составляющих основу жизни. Огромное значение вода имеет в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Общеизвестна необходимость ее для бытовых потребностей человека, всех растений и животных. В настоящее время хорошо известно, что вода может явиться источником распространения таких тяжелых заболеваний, как дизентерия, туберкулез, амебиаз, гастроэнтерит. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), инфекционная заболеваемость населения, связанная с водоснабжением, достигает 500 млн. случаев в год, поэтому при разработке систем очистки питьевых и сточных вод профилактика заболеваний путем обеззараживания воды и сегодня остается важнейшей в комплексе осуществляемых санитарно-гигиенических мероприятий [1].

Среди известных методов обеззараживания сточных вод наибольшее распространение получили облучение ультрафиолетом, хлорирование и озонирование. К недостаткам метода ультрафиолетового облучения можно отнести отсутствие пролонгированного эффекта после обеззараживания, высокие затраты электроэнергии и необходимость принятия специальных мер по утилизации отработавших ламп. Недостатками озонирования являются кратковременность действия, а также то, что, реагируя со сложными органическими соединениями, озон расщепляет их на фрагменты, являющиеся питательной средой для микроорганизмов в системах распределения. Обеззараживание воды газообразным хлором, завозимым на водоочистные станции в баллонах и цистернах в сжиженном виде, также имеет ряд изъянов: хлор является сильнодействующим ядовитым веществом, поэтому очистные станции, использующие хлор для обеззараживания, становятся объектами повышенной опасности; возможность утечки хлора при использовании напорных хлорато-

ров представляет опасность для обслуживающего персонала; необходимость хранения большого запаса хлора на станциях, так, из одного баллона (при комнатной температуре) может быть получено лишь около 0,5-0,7 кг хлора в час; соблюдение особых правил при устройстве хлораторных установок, т.к. он обладает летучестью и ядовитыми свойствами.

Основным недостатком реагентных методов (главным образом, хлорирования и озонирования) при использовании их для обеззараживания с позиций безопасности последствий для здоровья населения и среды обитания является их высокий окислительный потенциал, что определяет опасность образования побочных продуктов обработки, в том числе обладающих отдаленными эффектами воздействия (хроническая токсичность, мутагенность, канцерогенность). Особую актуальность данная проблема приобретает при обеззараживании сточных вод, содержащих в высоких концентрациях органические вещества (хозяйственно-бытовых, сточных вод пищевой промышленности, сельского хозяйства и т.д.). В этой связи в настоящее время активно осуществляется поиск средств обеззараживания сточных вод, альтернативных хлору и озону, для снижения негативных эффектов, возникающих при образовании побочных продуктов хлорирования.

Использование в процессе водоподготовки новых реагентных методов обеззараживания сточных вод требует проведения всесторонних исследований: должна быть доказана не только эффективность метода в отношении возбудителей инфекционных заболеваний, но и их безопасность для здоровья человека. Кроме того, учитывая, что некоторые дезинфектанты обладают высокой стойкостью в воде, и очевидно, что препараты, используемые для обеззараживания сточных вод, не должны оказывать отрицательного влияния на среду обитания (водные объекты), обусловленного содержанием остаточных количеств дезинфектантов и побочных

продуктов обработки. Отсутствие экотоксичности препаратов является критерием экологической безопасности метода обеззараживания, чему в настоящее время уделяется особое внимание медицинской экологией.

Перспективным и альтернативным методу обеззараживания газообразным хлором является метод обеззараживания воды с использованием электролизного гипохлорита натрия и электрохимически активированного раствора анолита нейтрального. Электролизный гипохлорит натрия получают из воды и поваренной соли в нужном количестве на электролизной установке в месте использования. Для работы установок не требуется специально оборудованного помещения, в отличие от хлораторных, установки такого типа могут быть расположены в непосредственной близости от жилой застройки. Возможность непосредственного введения гипохлорита натрия (далее – ГПХН) в воду, минуя накопительные емкости, исключает риск, связанный с хранением химических окислителей. Вместе с тем, применение промежуточной накопительной емкости не увеличивает степень опасности объекта, поскольку содержание производимого хлора не превышает 0,8-0,9%, а хранение химических веществ в таких концентрациях не относится к классу опасных объектов. Экологичность анолита нейтрального (далее – АН) обусловлена его естественным свойством самопроизвольно релаксировать без образования токсических соединений-ксенобиотиков. Способность раствора деградировать в течение 5-10 суток до исходного продукта – минерализованной воды, не требует его нейтрализации после использования [2].

Целью настоящей работы является оценка полученных электролизных и электрохимически активированных дезинфицирующих растворов и обоснование их токсичности и эффективности для обеззараживания сточных вод.

Материалы и методы

Электролизный ГПХН и электрохимически активированный раствор АН получали на установке «Аквamed» УП «Акваприбор» (г. Гомель, Республика Беларусь). В результате электролиза был получен прозрачный, бесцветный раствор ГПХН с водородным показателем (рН) $8,64 \pm 0,01$ единиц и содержа-

нием активного хлора (C_{ax}) $3752 \pm 52,2$ мг/дм³. При электрохимической активации из исходного 0,3% водно-солевого раствора был получен раствор АН с рН $6,74 \pm 0,02$ единиц и $C_{ax} - 146 \pm 4,8$ мг/дм³.

Выполнено пять серий опытов. В первой серии изучали токсичность рабочих растворов препаратов в люминесцентном бактериальном тесте, тестах на ракообразных (дафниях) и водорослях. Для исследований готовили водные рабочие растворы препаратов таким образом, чтобы концентрация остаточного активного хлора составляла 1,56 мг/дм³ (при использовании ГПХН₃₇₅₂) и 1,7 мг/дм³ (при использовании АН₁₄₆). Исходным материалом для проведения исследований являлись лабораторные генетически однородные культуры гидробионтов из рабочей коллекции РУП «Научно-практического центра гигиены».

Во второй серии опытов давали оценку токсичности сточных вод, обработанных образцами растворов препаратов, в тестах на ракообразных (дафниях) и водорослях. Сточные воды для моделирования эксперимента были отобраны на рассеянном выпуске станции аэрации г. Витебска. Для исследований в сточные воды вносили представленные на исследования препараты с таким расчетом, чтобы концентрация остаточного активного хлора в сточных водах составляла 1,56 мг/дм³ (при использовании ГПХН₃₇₅₂) и 1,7 мг/дм³ (при использовании АН₁₄₆).

Эксперименты проводились методиками, разработанными РУП «Научно-практический центр гигиены» в соответствии с принципами наилучшей лабораторной практики и международными принципами, описанными в инструкциях по применению [3-6], и стандартизованными методами ISO 6341:1996, ISO 7346-1:1996, ISO 8692:1989. Во всех исследованиях приготовление исследуемых субстратов осуществляли непосредственно перед биотестированием. Статистическая обработка данных проводилась с применением статистического пакета Microsoft Office Excel 2003 г., использовался графический способ определения Э(Л)К_x методом пробит-анализа.

В третьей серии для определения общего и свободного остаточного хлора в сточной воде после обеззараживания анолитом нейтральным в 5 сосудов наливали по 1 дм³ сточной воды и добавляли пипеткой раствор АН₁₄₆

в следующих количествах: в 1-й сосуд - 6,8 см³ (1 мг активного хлора на 1 дм³ сточной воды), во 2-й - 13,6 см³ (2 мг/дм³), в 3-й - 20,5 см³ (3 мг/дм³), в 4-й - 24,0 см³ (3,5 мг/дм³), в 5-й - 27,4 см³ (4 мг/дм³).

В четвертой серии опытов для определения общего и свободного остаточного хлора в сточной воде после обеззараживания гипохлоритом натрия в 5 сосудов наливали по 1 дм³ сточной воды и добавляли пипеткой раствор ГПХН₃₇₅₂ в следующих количествах: в 1-й сосуд - 0,27 см³ (1 мг активного хлора на 1 дм³ сточной воды), во 2-й - 0,53 см³ (2 мг/дм³), в 3-й - 0,79 см³ (3 мг/дм³), в 4-й - 0,93 см³ (3,5 мг/дм³), в 5-й - 1,07 см³ (4 мг/дм³).

Содержимое сосудов тщательно перемешивали стеклянной палочкой и через 30 мин определяли в сточной воде количество остаточного хлора. Для точного количественного определения остаточного хлора использовали два метода: йодометрический (для определения общего остаточного хлора) и титрование метиловым оранжевым (для определения свободного остаточного хлора).

В пятой серии после обеззараживания сточных водах ГПХН определяли общее микробное число (ОМЧ) КОЕ/см³, коли-индекс (Кл./л) и количество лактозоположительных кишечных палочек (ЛКП) в 1 дм³. В контроле для обеззараживания сточных вод использовали раствор химического гипохлорита кальция (ХГПХК) с рН=11,34±0,02 единиц, С_{ак}=4850±9,8 мг/дм³, полученный путем разведения сухого порошка гипохлорита кальция водопроводной водой.

Результаты и обсуждение

В первой серии опытов представлены результаты токсичности растворов ГПХН₃₇₅₂

и АН₁₄₆ с использованием люминесцентного бактериального теста.

Выявлено, что растворы ГПХН₃₇₅₂ и АН₁₄₆ обладают допустимой степенью токсичности (табл. 1).

Индекс токсичности Т_{ср} в результате исследований растворов ГПХН₃₇₅₂ и АН₁₄₆ был соответственно равен 5 и 7 при проведении трех параллельных измерений образцов, что соответствует допустимой степени токсичности образца (Т<20). В случае, если 20≤Т<50, образец является токсичным, а если Т≥50 – сильно токсичным.

Оценка токсичности пробы проведена по относительному различию в интенсивности биолюминесценции контрольной и опытной проб и вычислению индекса токсичности «Т». Абсолютная величина интенсивности биолюминесценции контроля не имела принципиального значения в диапазоне допустимых значений.

Во второй серии опытов установлено, что сточные воды, обработанные ГПХН₃₇₅₂ и АН₁₄₆, не проявили острого токсического действия (табл. 2, 3).

Выводы о наличии или отсутствии токсичности пробы делались на основании величины А – количества иммобилизованных животных в опыте по отношению к контролю. Если А≤10%, тестируемая проба не оказывает токсического действия. При А≥50% животных и более считают, что анализируемая проба проявляет токсичность. Результаты исследований показали, что исследуемые рабочие растворы, а также сточные воды, обработанные данными растворами, имели значения А менее 10% во всех случаях.

В третьей серии представлены результаты исследования физико-химических показателей сточной воды после обработки раз-

Таблица 1 – Результаты оценки токсичности образцов рабочих растворов с использованием бактериального люминесцентного теста

№ п/п	Код образца	Индекс токсичности Т _{ср}	Индексы токсичности параллельных измерений			Оценка токсичности
			Т ₁	Т ₂	Т ₃	
1.	Рабочий раствор ГПХН ₃₇₅₂	5	6	5	4	Допустимая степень токсичности
2.	Рабочий раствор АН ₁₄₆	7	7	7	7	Допустимая степень токсичности

Таблица 2 – Результаты оценки токсичности образцов рабочих растворов в тестах на ракообразных (дафниях)

№ п/п	Код образца	А							Оценка токсичности
		Исх. растворы	разведения						
			1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	
1.	Рабочий раствор ГПХН ₃₇₅₂	10	10	10	0	0	0	0	Острое токсическое действие отсутствует
2.	Рабочий раствор АН ₁₄₆	10	10	6,7	0	0	0	0	
3.	Сточные воды, обработанные ГПХН ₃₇₅₂ с содержанием остаточного свободного хлора 1,56 мг/дм ³	10	10	10	6,7	0	0	0	
4.	Сточные воды, обработанные АН ₁₄₆ с содержанием остаточного свободного хлора 1,7 мг/дм ³	10	10	10	0	0	0	0	

Таблица 3 – Результаты оценки токсичности образцов рабочих растворов в тестах на водорослях

№ п/п	Код образца	А							Оценка токсичности
		Исх. растворы	разведения						
			1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	
1.	Рабочий раствор ГПХН ₃₇₅₂	10	10	6,7	0	0	0	0	Острое токсическое действие отсутствует
2.	Рабочий раствор АН ₁₄₆	10	10	3,4	0	0	0	0	
3.	Сточные воды, обработанные ГПХН ₃₇₅₂ с содержанием остаточного свободного хлора 1,56 мг/дм ³	10	10	10	6,7	0	0	0	
4.	Сточные воды, обработанные АН ₁₄₆ с содержанием остаточного свободного хлора 1,7 мг/дм ³	10	10	10	0	0	0	0	

личными концентрациями активного хлора в анолите нейтральном (табл. 4).

Между содержанием активного хлора в АН и содержанием остаточного общего и свободного хлора в сточной воде после обеззараживания выявлена сильная прямая корреляционная связь (соответственно $r_{xy}=0,98$, $r_{xy}=0,98$). Между содержанием активного хлора и содержанием общего связанного хлора выявлена заметная прямая корреляционная связь ($r_{xy}=0,61$), а между содержанием активного хлора и хлорпоглощаемостью воды –

умеренная ($r_{xy}=0,52$). Это свидетельствовало о том, что с увеличением содержания активного хлора в анолите увеличивается содержание остаточного (общего и свободного) хлора в сточной воде.

В 4-ой серии опытов представлены результаты исследования физико-химических показателей сточной воды после обработки различными концентрациями активного хлора в гипохлорите натрия (табл. 5).

Между содержанием активного хлора в ГПХН и содержанием остаточного общего,

Таблица 4 – Содержание остаточного хлора в воде после обработки анолитом нейтральным

Хлор активный, мг/дм ³	Объем АН ₁₄₆ , см ³	Остаточный хлор, мг/дм ³			Хлорпоглощаемость воды, мг/дм ³
		Общий	Свободный	Связанный	
1	6,8	0,14±0,005	0,1±0,004	0,04±0,005	0,42±0,03
1,5	10,2	0,95±0,04	0,64±0,01	0,31±0,02	0,38±0,04
2	13,6	1,36±0,05	0,95±0,04	0,4±0,03	0,39±0,04
2,5	17,1	1,92±0,03	1,34±0,04	0,57±0,02	0,41±0,03
3	20,5	2,51±0,03	1,95±0,07	0,46±0,04	0,4±0,03

Таблица 5 – Содержание остаточного хлора в воде после обработки гипохлоритом натрия

Хлор активный, мг/дм ³	Объем ГПХН ₃₇₅₂ , см ³	Остаточный хлор, мг/дм ³			Хлорпоглощаемость воды, мг/дм ³
		Общий	Свободный	Связанный	
1	0,27	0,3±0,02	0,1±0,005	0,12±0,004	0,31±0,02
2	0,53	0,46±0,03	0,35±0,03	0,11±0,005	0,51±0,03
3	0,79	1,28±0,05	1,15±0,02	0,12±0,004	0,64±0,03
3,5	0,93	1,49±0,04	1,37±0,03	0,12±0,004	0,73±0,05
4	1,07	2,33±0,07	2,2±0,07	0,13±0,005	0,92±0,04

Таблица 6 – Бактериологические показатели обеззараженных сточных вод гипохлоритом натрия

Раствор	Показатель	Результаты
ГПХН	ОМЧ	101±11 КОЕ/см ³
Контроль*	ОМЧ	302±31 КОЕ/см ³
ГПХН	коли-индекс	888±42 Кл./л
Контроль	коли-индекс	2132±101 Кл./л
ГПХН	ЛКП	2412±141 в 1 дм ³
Контроль	ЛКП	7720±302 в 1 дм ³

Примечание: * – раствор ХГПХК.

свободного и связанного хлора в сточной воде после дезинфекции, а также хлорпоглощаемостью воды выявлена сильная прямая корреляционная связь (соответственно $r_{xy}=0,97$, $r_{xy}=0,96$, $r_{xy}=0,90$, $r_{xy}=0,97$). Это свидетельствовало о том, что с увеличением содержания активного хлора в ГПХН увеличивается содержание остаточного (общего, свободного и связанного) хлора в сточной воде, а также увеличивается хлорпоглощаемость воды. Таким образом, статически достоверен процесс увеличения общего и свободного хлора в зависимости от содержания активного хлора в ГПХН.

В результате исследования установлено, что при обеззараживании сточной воды необходимой концентрацией активного хлора в анолите нейтральном является 3,5 мг/дм³, а

в гипохлорите натрия – 4 мг/дм³, при этом содержание остаточного хлора в сточной воде соответствует требованиям СанПиН «Требования к системам водоотведения населенных пунктов», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 15 мая 2012 г. № 48, п.22, 27.

В 5-ой серии исследования представлены бактериологические показатели обеззараженных сточных вод гипохлоритом натрия по сравнению с контролем (табл. 6).

Результаты исследований бактериологических показателей сточных вод показали, что при обеззараживании сточных вод дезинфицирующим раствором ГПХН привело к достоверному снижению ОМЧ в 3 раза, коли-индекса – в 2,4 раза, количества ЛКП – в 3,2 раза по сравнению с контролем.

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования по оценке экотоксичности сточных вод, обработанных растворами электролизного гипохлорита натрия и электрохимически активированного анолита из расчета содержания остаточного хлора в пределах концентраций хлора, регламентируемых действующими санитарными нормами и правилами, свидетельствуют об отсутствии экотоксичности препаратов. Выявленные закономерности отсутствия токсического воздействия остаточных концентраций препаратов являются критерием экологической безопасности предложенных методов обеззараживания сточных вод, что определяет преимущество по сравнению с другими методами хлорирования при их использовании для обеззараживания хозяйственно-бытовых сточных вод.

Результаты исследования позволяют заключить, что растворы АН и ГПХН, получаемые на установке типа «Аквamed» УП «Акватория» (г. Гомель, Республика Беларусь), являются экологически безопасными и эффективными для обеззараживания сточных вод.

Литература

1. Международные стандарты питьевой воды / Всемирная организация здравоохранения; ред. Е. П. Самыгина. – 3-е изд. – М.: Медицина, 1973. – 80 с.
2. Бахир, В. М. Технические электрохимические системы для получения продуктов электролиза раствора хлорида натрия / В. М. Бахир, Ю. Г. Задорожний // Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве, промышленности: Второй междунар. симп., Москва, 28-29 окт. 1999 г.: тез. докл. и краткие сообщ.: в 2 ч. Ч. 2. – М.: ВНИИИМТ, 1999. – С. 315-325.
3. Гигиеническая оценка полимерных материалов, реагентов, оборудования, применяемых в системах питьевого водоснабжения: инструкция по применению 2.1.4.10-12-6-2006: утв. постановлением Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 20.02.06. – Минск, 2006. – 20 с.
4. Определение острой токсичности химических веществ, их смесей, природных и сточных вод методом биотестирования с применением ракообразных в качестве тест-объектов (*Dafnia magna* и *Chlorellavulgaris*): инструкция по применению 093-1008: утв. постановлением Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 30.12.08. – Минск, 2008. – 35 с.
5. Оценка интегральной токсичности объектов окружающей среды методами биотестирования: инструкция по применению 021-1112: утв. пост. Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 12.12.12. – Минск, 2012. – 27 с.
6. Определение токсичности химических соединений, полимеров, материалов, изделий и объектов окружающей среды с помощью люминесцентного бактериального теста: инструкция по применению 090-0610: утв. пост. Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 28.06.10. – Минск, 2010. – 24 с.

*Поступила 25.09.2014 г.
Принята в печать 06.02.2015 г.*

Сведения об авторах:

Ширякова Т.А. – старший преподаватель кафедры общей гигиены и экологии УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет»;
Бурак И.И. – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой общей гигиены и экологии УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет»;
Дроздова Е.В. – заведующая лабораторией питьевого водоснабжения и санитарной охраны водоемов РУП «Научно-практический центр гигиены»;
Фираго А.В. – стажер младшего научного сотрудника лаборатории питьевого водоснабжения и санитарной охраны водоемов РУП «Научно-практический центр гигиены»;
Головнев И.Э. – заведующий лабораторией очистных сооружений г. Витебска УП «Витебскводоканал»;
Григорьева С.В. – старший преподаватель кафедры общей гигиены и экологии УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет».

Адрес для корреспонденции: Республика Беларусь, 210023, г. Витебск, пр. Фрунзе, 27, УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», кафедра общей гигиены и экологии. E-mail: t.a.sh.16@mail.ru – Ширякова Татьяна Александровна.