

УДК 614.72:+628.332

DOI: 10.33396/1728-0869-2020-11-4-13

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫБРОСОВ ИЗ ТЕЛА ПОЛИГОНА ДЛЯ СКЛАДИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

© 2020 г. *О. В. МIRONENKO, А. В. Киселев, Х. К. Магомедов, **А. В. ПАНЬКИН,
О. К. СУВОРОВА, Е. А. ФЕДОРОВА

ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова»,
г. Санкт-Петербург; *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург;
**ООО «Институт проектирования, экологии и гигиены», г. Санкт-Петербург

Статья посвящена изучению воздействия на здоровье населения веществ в атмосферном воздухе, образующихся в результате разложения органической составляющей осадков сточных вод, размещенной на полигоне. В качестве объекта исследования выбран комплекс иловых площадок Северной станции аэрации ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», расположенный в пос. Новоселки г. Санкт-Петербурга. Цель исследования – гигиеническая оценка влияния выбросов полигона для складирования осадков сточных вод на здоровье населения. Методы: использованы санитарно-химические методы исследования выбросов полигона, выполнен расчет рассеивания выбросов в атмосферном воздухе, применена методология по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух. Результаты. В результате жизнедеятельности полигона в атмосферный воздух поступает 30 загрязняющих веществ, суммарный валовый выброс достигает 768,11 т/год. Основной объем валового выброса образует метан. В составе выбросов присутствуют 12 загрязняющих веществ, обладающих канцерогенным действием. В суммарный индекс неканцерогенной опасности 99,9 % вклада вносят 18 веществ, основными из которых являются дигидросульфид (сероводород), формальдегид и аммиак. Выводы. Максимальные значения канцерогенного риска от воздействия формальдегида в расчетных точках достигают значения $5,8 \times 10^{-6}$. Уровни индивидуального канцерогенного риска от воздействия формальдегида соответствуют второму диапазону риска (предельно допустимый). Величина суммарного индивидуального канцерогенного риска не превышает значения $7,4 \times 10^{-6}$. Максимальные значения коэффициентов опасности при хроническом воздействии обусловлены сероводородом – 0,27. Максимальные значения индекса опасности воздействия в расчетных точках составляют на органы дыхания 0,46; на иммунную систему – 0,16; на глаза – 0,15. Данные уровни риска были оценены как минимальные.

Ключевые слова: риск для здоровья, полигон складирования осадков сточных вод, канцерогены, загрязняющие вещества, общетоксическое действие

HYGIENIC ASSESSMENT OF THE IMPACT OF EMISSIONS FROM THE BODY SEWAGE SLUDGE LANDFILL ON PUBLIC HEALTH

*O. V. Mironenko, A. V. Kiselev, Kh. K. Magomedov, **A. V. Pankin,
O. K. Suvorova, E. A. Fedorova

I. I. Mechnikov North-West State Medical University, Saint Petersburg; *Saint Petersburg State University,
Saint Petersburg; **Institute of Design, Ecology and Hygiene, Saint Petersburg, Russia

The aim was to assess the health impact of substances measured in the air originating from the decomposition of organic components of sewage sludge in the landfill. Methods: The study was performed at the Severny landfill in a suburb of Saint Petersburg. Sanitary and chemical methods of landfill emissions research were applied. Health risk assessment of the chemicals polluting the air was used. Results: In total, 30 pollutants are emitted from the landfill to the air with the total emission of 768.11 tons/year. The main pollutant was methane. The emissions contained 12 pollutants with a carcinogenic effect. A total of 18 substances comprised 99.9 % of the total index of non-carcinogenic hazard with dihydrosulfide (hydrogen sulfide), formaldehyde and ammonia being the main contributors. Conclusions: The maximum values of carcinogenic risk from exposure to formaldehyde at the calculated points reached 5.8×10^{-6} . The levels of individual carcinogenic risk from formaldehyde exposure correspond to the second risk range (maximum permissible). The value of the total individual carcinogenic risk does not exceed the value of 7.4×10^{-6} . The maximum values of the hazard factors for chronic exposure are due to hydrogen sulfide – 0.27. The maximum values of the exposure hazard index at calculated points on the respiratory system are 0.46; on the immune system – 0.16; on the eyes – 0.15. These risk levels were rated as minimal.

Key words: health risk, landfill for sewage sludge, carcinogens, pollutants, general toxic effects

Библиографическая ссылка:

Мироненко О. В., Киселев А. В., Магомедов Х. К., Панькин А. В., Суворова О. К., Федорова Е. А. Гигиеническая оценка воздействия выбросов из тела полигона для складирования осадков сточных вод на здоровье населения // Экология человека. 2020. № 11. С. 4–13.

For citing:

Mironenko O. V., Kiselev A. V., Magomedov Kh. K., Pankin A. V., Suvorova O. K., Fedorova E. A. Hygienic Assessment of the Impact of Emissions from the Body Sewage Sludge Landfill on Public Health. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 11, pp. 4-13.

В последние годы установление связи между воздействием факторов окружающей среды и состоянием здоровья населения становится все более актуальным в гигиенических исследованиях [1].

Вопросы оценки вклада того или иного объекта в загрязнение атмосферного воздуха решаются путем расчетов рассеивания примесей на основе официальных математических моделей. Примером такого

объекта служит полигон складирования осадков сточных вод (ОСВ) «Северный» филиала «Водоотведение Санкт-Петербурга» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга».

В отечественных и зарубежных работах описаны последствия широко применяемых методов утилизации ОСВ, таких как внесение осадков в почву, в том числе в качестве удобрения [27, 30, 32], сжигание с целью получения биотоплива [3, 4, 13, 33, 35], использование осадков при изготовлении стройматериалов [21, 22]. Большой объем работ посвящен активно используемому в России методу складирования осадков на полигонах, в которых говорится об опасности применения данной технологии для окружающей среды (загрязнение выделениями и выбросами полигонов сопредельных сред) [2]. Однако в литературных источниках отсутствуют сведения, посвященные оценке риска здоровью населения, проживающего в зоне размещения полигона и подвергающегося воздействию данного негативного фактора со стороны приоритетных химических соединений, выделяющихся из тела полигона для складирования ОСВ.

Полигон для складирования ОСВ «Северный» филиала «Водоотведение Санкт-Петербурга» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» располагается в северной части города. С южной стороны полигон граничит с СПб ГУП «Завод МПБО-II» и кольцевой автомобильной дорогой (КАД), с западной — с Левашовским шоссе, за которым располагается строительная площадка автокомпонентов Hyundai, с северной — с аэродромом Левашово и пос. Новоселки, с восточной — с КАД, за которой располагается Успенское кладбище.

Полигон «Северный» расположен в 5 км от ближайших районов Санкт-Петербурга, в 2 км от пос. Левашово, население которого составляет примерно 5 тыс. человек. С этим связаны постоянные жалобы населения, проживающего в обозначенных районах, на неприятный запах в атмосферном воздухе.

Запахи в атмосферном воздухе связаны с тем, что для ряда веществ (например метилмеркаптан) пороги запаха ниже ПДК. Меркаптаны в рамках описываемой темы в основном представлены метилмеркаптаном и этилмеркаптаном. Поскольку оба вещества обладают схожими токсическими свойствами, детально мы разберём их на примере метилмеркаптана.

Метилмеркаптан — это бесцветный газ с характерным запахом, тяжелее воздуха и может стелиться по земле; возможно возгорание на расстоянии. Вещество раздражает глаза, кожу и дыхательные пути. Вдыхание газа может вызвать отек легких. Вещество может оказывать действие на центральную нервную систему, приводя к дыхательной недостаточности. Воздействие в большой дозе может вызвать смерть. При действии высоких концентраций в картине отравления меркаптанами преобладают угнетение, расстройства дыхания и координации движений, вероятно смерть от остановки дыхания. Порог запаха 0,0001–0,0003 мг/м³ [16].

Площадь объекта 82 328 га согласно акту землеотвода. Объем складированных осадков 2,1 млн³

тонн. Полигон предназначен для складирования обезвоженных ОСВ.

Полигон огражден грунтовыми дамбами из кембрийской глины, по верху дамбы проложена асфальтированная дорога с барьерными ограждениями. По общепринятой технологии захоронения отходов предусматривают планировку и уплотнение завозимых отходов, а также регулярную изоляцию грунтом рабочих слоев отходов.

Процесс разложения отходов носит характер окисления, происходящего в верхних слоях отходов за счет кислорода воздуха, содержащегося в пустотах и проникающего из атмосферы. По мере естественного и механического уплотнения отходов и изолирования их грунтом усиливаются анаэробные процессы с образованием биогаза, являющегося конечным продуктом биотермического анаэробного распада органической составляющей отходов под воздействием микрофлоры [31].

За период анаэробного разложения отходов с постоянным выделением метана и максимальным выходом биогаза генерируется около 80 % от общего количества биогаза. Наличие загрязняющих веществ в воздухе обусловлено протеканием процессов биоразложения (гниения и брожения) ОСВ.

Таким образом, полигон «Северный» является значительным источником выброса вредных веществ, в том числе обладающих запахом, на что указывают жалобы и обращения жителей пос. Новоселки и Левашово, при этом данные расчетов ПДВ показывают, что превышений загрязняющих химических веществ на территории жилой застройки нет. Таким образом, подобного рода объект представляет собой систему жизнеобеспечения города достаточно статичную и замена технологии на более экологически благоприятную является сложным процессом [6, 7, 14, 15].

Поскольку классические медико-статистические и эпидемиологические методы зачастую не позволяют установить достоверную взаимосвязь между воздействием фактора на здоровье населения, проживающего в зоне экологического риска, и прямой корреляцией «фактор — эффект» (особенно в течение непродолжительного времени воздействия), необходимо применять метод прогнозирования изменения состояния здоровья при воздействии факторов окружающей среды [8, 10, 17].

Анализ существующих практик медико-экологических исследований и экспертиз наглядно показывает необходимость сочетания методов оценки риска здоровью и медико-статистических и эпидемиологических методов. Методология оценки риска здоровью является официальным приемом оценки вредного воздействия выбросов, определения приоритетности загрязняющих веществ. Она введена в действие в 2004 г. Г. Г. Онищенко, а с 01.04.2008 г. является обязательной процедурой при решении вопросов достаточности размеров санитарно-защитных зон (СЗЗ) объектов источников выбросов [11]. На сегодняшний день Р 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения

при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» до сих пор остается в России единственным документом, отражающим в полной мере классическую методологию оценки риска, принятую международным научным обществом [12].

В настоящее время в нашей стране методология оценки риска здоровью населения занимает ведущее положение в системе организации безопасности населения и гигиены окружающей среды. За последние годы в России проведено множество исследований по практическому применению методологии оценки риска для характеристики воздействия различных химических веществ, на здоровье населения. Методология оценки риска здоровью представляет собой элемент математического моделирования причинно-следственных связей между фактором (химическим, физическим) и здоровьем населения, находящегося под его воздействием, в конкретных условиях пространства и времени [9].

На основании вышесказанного сформирована цель настоящего исследования — дать гигиеническую оценку влияния выбросов полигона складирования осадков сточных вод на здоровье населения.

Методы

Оценка риска здоровью выполнена на основании данных выбросов полигона складирования ОСВ «Северный» за 2014–2017 гг. (табл. 1).

Расчеты рассеивания выбросов выполнены в программе УПРЗА «Эколог-Стандарт» версия 4.60 в соответствии с Приказом Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» на основании исходных данных о выбросах. Источник выбросов (иловые площадки) стилизован как неорганизованный источник. Расчеты выполнены на площадке размером 4 000 × 3 400 м с шагом сетки 50 м, а также в 9 расчетных точках. Расчетные точки были выбраны на границе полигона и жилой зоны пос. Левашово (2 250 м от полигона) и Новоселки (1 480 м от полигона).

Результаты

На первом этапе нашей работы были подвергнуты анализу и ранжированию результаты исследования выбросов полигона и определена последовательность действий применения методологии оценки риска

Таблица 1

Ранжирование загрязняющих веществ по валовому выбросу от полигона

Код	Вещество	ПДКм.р.	ПДКс.с.	ОБУВ	Класс опасности	Валовый выброс, т/г	Вклад, %	Ранг
410	Метан	—	—	50	—	694,75	90,4	1
303	Аммиак	0,2	0,04	—	4	34,62	4,51	2
612	(1-Метилэтил) бензол (Изопропилбензол, Кумол)	0,014	—	—	4	12,00	1,56	3
333	Дигидросульфид (Сероводород)	0,008	—	—	2	10,25	1,33	4
1325	Формальдегид	0,05	0,01	—	2	7,67	1,00	5
403	Гексан	60	—	—	4	1,36	1,8E-01	6
602	Бензол	0,3	0,1	—	2	0,98	1,3E-01	7
626	Триметилбензол	0,04	0,015	—	2	0,93	1,2E-01	8
640	1,4-Диметилбензол (п-Ксилол)	0,3	—	—	3	0,80	1,0E-01	9
2754	Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	1	—	—	4	0,61	8,0E-02	10
1051	Изопропиловый спирт	0,6	—	—	3	0,57	7,5E-02	11
856	1,2-Дихлорэтан	3	1	—	2	0,52	6,9E-02	12
627	Этилбензол	0,02	—	—	3	0,38	4,9E-02	13
1409	Метилэтилкетон	—	—	0,1	—	0,36	4,7E-02	14
639	1,2-Диметилбензол (о-Ксилол)	0,3	—	—	3	0,28	3,7E-02	15
902	Трихлорэтилен	4	1	—	3	0,28	3,7E-02	15
622	Тетраметилбензол	0,025	0,01	—	2	0,25	3,3E-02	17
614	Метилпропилбензол	—	—	0,2	—	0,23	3,1E-02	18
621	Метилбензол (Толуол)	0,6	—	—	3	0,23	3,1E-02	18
2212	2,6,6-Триметилбицикло[3,1,1]гепт-2-ен (2-Пинен)	—	—	0,2	4	0,22	3,0E-02	20
898	Трихлорметан	0,1	0,03	—	2	0,17	2,3E-02	21
2213	3,7,7-Триметилбицикло[4,1,0]гепт-3-ен (3-Карен)	—	—	0,2	4	0,08	1,1E-02	22
707	Метилнафталин	—	—	0,02	—	0,08	1,0E-02	23
1071	Гидроксibenзол (Фенол)	0,01	0,006	—	2	0,07	9,7E-03	24
906	Тетрахлорметан	4	0,7	—	2	0,07	9,5E-03	25
631	Метилизопропилбензол	—	—	0,03	—	0,06	7,9E-03	26
708	Нафталин	0,007	—	—	4	0,05	7,8E-03	27
1716	Смесь природных меркаптанов	0,00005	—	—	3	0,04	6,0E-03	28
1706	Диметилдисульфид	0,7	—	—	4	0,04	5,4E-03	29
1305	Октаналь	0,02	—	—	2	0,02	3,4E-03	30
Всего 30 загрязняющих веществ						768,11	100	

здоровью для анализа качества природной среды по этапам работы [11]:

- идентификация опасности
- оценка экспозиции
- оценка зависимости «доза — эффект»
- характеристика риска.

В результате деятельности полигона в атмосферный воздух поступает 30 загрязняющих веществ, суммарный валовый выброс которых составляет 768,11 т/год.

Основной объем валового выброса составляют метан — 694,75 т/год, аммиак — 34,62 т/год, (1-Метилэтил)бензол (Изопропилбензол, Кумол) — 12,00 т/год, дигидросульфид (сероводород) — 10,25 т/год, формальдегид — 7,67 т/год.

Результаты ранжирования загрязняющих веществ по валовому выбросу от полигона представлены в табл. 1.

В составе выбросов полигона присутствуют 12 загрязняющих веществ, которые по данным СанПиН 1.2.2353-08 «Канцерогенные факторы и основные требования к профилактике канцерогенной опасности», Руководства по оценке риска 2.1.10.1920-04 и Международного агентства по изучению рака (МАИР) обладают канцерогенным действием при ингаляционном пути поступления в организм: бензол, (1-метилэтил)бензол (изопропилбензол, кумол), метилбензол (толуол), этилбензол, нафталин, 1,2-ди-

хлорэтан трихлорметан, трихлорэтилен, тетрахлорметан, изопропиловый спирт, гидроксибензол (фенол), формальдегид.

Только для 8 канцерогенов (бензол, этилбензол, нафталин, 1,2-дихлорэтан, трихлорметан, трихлорэтилен, тетрахлорметан, формальдегид) разработан фактор канцерогенного потенциала (SFi), что позволяет выполнить дальнейшую оценку уровней канцерогенного риска для этих веществ.

Изучение степени выраженности токсических свойств загрязняющих веществ по величине индекса сравнительной неканцерогенной опасности показало, что 99,9 % вклада в суммарный индекс неканцерогенной опасности вносят 18 веществ: дигидросульфид (сероводород), формальдегид, аммиак, триметилбензол, метан, смесь природных меркаптанов, тетраметилбензол, (1-метилэтил)бензол (изопропилбензол, кумол), бензол, 1,4-диметилбензол (п-ксилол), гидроксибензол (фенол), нафталин, 1,2-диметилбензол (о-ксилол), трихлорэтилен, трихлорметан, гексан, метилнафталин, тетрахлорметан.

В рамках выполняемой работы для анализа канцерогенных свойств идентифицированных химических веществ обобщались зарубежные данные о степени доказанности канцерогенного действия по классификациям МАИР, информация о SFi при ингаляционном поступлении, рассчитывались уровни единичного риска с использованием величины SFi, стандартных

Таблица 2

Сведения о параметрах опасности развития неканцерогенных эффектов при хроническом воздействии

Код	Вещество	RfC, мг/м³	Критические органы/системы
303	Аммиак	0,1	Органы дыхания
333	Дигидросульфид (Сероводород)	0,002	Органы дыхания
403	Гексан	0,7	ЦНС, органы дыхания, нервная система
410	Метан	50	—
602	Бензол	0,03	Процессы развития, кроветворная система, красный костный мозг, ЦНС, иммунная система, ССС, репродуктивная система
612	(1-Метилэтил)бензол (Изопропилбензол, Кумол)	0,4	Почки, эндокринная система, ЦНС
621	Метилбензол (Толуол)	5	ЦНС, процессы развития, органы дыхания
622	Тетраметилбензол	0,01	—
626	Триметилбензол	0,006	Почки, изменение биохимических показателей крови, ЦНС, кроветворная система, органы дыхания
627	Этилбензол	1	Процессы развития, печень, почки, эндокринная система
639	1,2-Диметилбензол (о-Ксилол)	0,1	ЦНС, органы дыхания, почки, печень
640	1,4-Диметилбензол (п-Ксилол)	0,1	ЦНС, органы дыхания, почки, печень
707	Метилнафталин	0,071	—
708	Нафталин	0,003	Органы дыхания
856	1,2-Дихлорэтан	0,4	Процессы развития, печень, почки, ЦНС
898	Трихлорметан	0,098	Печень, процессы развития, почки, ЦНС
902	Трихлорэтилен	0,04	ЦНС, печень, эндокринная система, процессы развития, глаза, почки
906	Тетрахлорметан	0,04	Печень, процессы развития, ЦНС, почки
1051	Изопропиловый спирт	7	Печень, почки, процессы развития
1071	Гидроксибензол (Фенол)	0,006	ССС, почки, ЦНС, печень, органы дыхания
1325	Формальдегид	0,003	Органы дыхания, глаза, иммунная система
1409	Метилэтилкетон	5	Процессы развития
1706	Диметилдисульфид	0,7	—
1716	Смесь природных меркаптанов	0,001	Органы дыхания
2213	3,7,7-Триметилбисцикло[4,1,0]гепт-3-ен (3-Карен)	0,2	—

значений массы тела человека (70 кг) и суточного потребления воздуха (20 м³/сутки) [5, 18, 24].

Сведения о параметрах опасности развития неканцерогенных эффектов при хроническом воздействии представлены в табл. 2. Критические органы и системы организма, поражаемые приоритетными загрязнителями, приведены в соответствии с Руководством 2.1.10.1920-04 [11].

На основании анализа системной и органотропной направленности действия всех приоритетных загрязняющих веществ в выбросах от полигона прежде всего следует ожидать увеличения общетоксических эффектов на центральную нервную систему, органы дыхания, почки, влияния на процессы развития организма, печень [11].

Учитывая цель исследования, за основу сценария воздействия был принят сценарий жилой зоны, при котором рассматривается хроническое (пожизненное) воздействие.

Это предполагает оценку воздействия на жителей, постоянно проживающих в рассматриваемой местности, без учета их дополнительной экспозиции к вредным веществам в процессе трудовой деятельности [29].

Анализ результатов расчетов среднегодовых концентраций показал, что привносимые уровни загрязнения во всех расчетных точках не будут превышать гигиенических нормативов по всем приоритетным загрязнителям.

Таблица 3
Диапазоны значений концентраций загрязняющих веществ в расчетных точках

Код	Вещество	Min	Max
		мг/м ³	
410	Метан	0,020	0,037
303	Аммиак	0,001	0,002
612	(1-Метилэтил)бензол (Изопропилбензол, Кумол)	3,5Е-04	6,3Е-04
333	Дигидросульфид (Сероводород)	3,0Е-04	5,4Е-04
1325	Формальдегид	2,6Е-04	4,6Е-04
403	Гексан	4,0Е-05	7,2Е-05
602	Бензол	2,9Е-05	5,2Е-05
626	Триметилбензол	2,7Е-05	4,9Е-05
640	1,4-Диметилбензол (п-Ксилол)	2,4Е-05	4,3Е-05
1051	Изопропиловый спирт	1,7Е-05	3,1Е-05
856	1,2-Дихлорэтан	1,5Е-05	2,8Е-05
627	Этилбензол	1,1Е-05	2,0Е-05
1409	Метилэтилкетон	1,1Е-05	1,9Е-05
639	1,2-Диметилбензол (о-Ксилол)	8,2Е-06	1,5Е-05
902	Трихлорэтилен	8,2Е-06	1,5Е-05
622	Тетраметилбензол	7,5Е-06	1,4Е-05
621	Метилбензол (Толуол)	7,0Е-06	1,3Е-05
898	Трихлорметан	5,2Е-06	9,4Е-06
2213	3,7,7-Триметилбисцикло[4,1,0]гепт-3-ен (3-Карен)	2,5Е-06	4,5Е-06
707	Метилнафталин	2,4Е-06	4,3Е-06
1071	Гидроксибензол (Фенол)	2,2Е-06	4,0Е-06
906	Тетрахлорметан	2,1Е-06	3,9Е-06
708	Нафталин	1,7Е-06	3,1Е-06
1716	Смесь природных меркаптанов	1,3Е-06	2,4Е-06
1706	Диметилдисульфид	1,2Е-06	2,2Е-06

Оценка диапазонов среднегодовых концентраций показала, что максимальные значения концентраций во всех расчетных точках будут обусловлены метаном — 0,037 мг/м³.

Значения среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в расчетных точках представлены в табл. 3.

На основании полученных расчетным путем значений среднегодовых концентраций был произведен расчет суточных доз, усредненных с учетом ожидаемой средней продолжительности жизни человека для последующей оценки канцерогенных рисков.

Максимальные дозовые нагрузки во всех расчетных точках обусловлены выбросами формальдегида — 1,3Е-04 мг/кг×день.

В табл. 4 представлены диапазоны дозовой нагрузки на организм человека, рассчитанные с использованием стандартных факторов экспозиции.

Таблица 4
Диапазоны значений доз загрязняющих веществ в расчетных точках

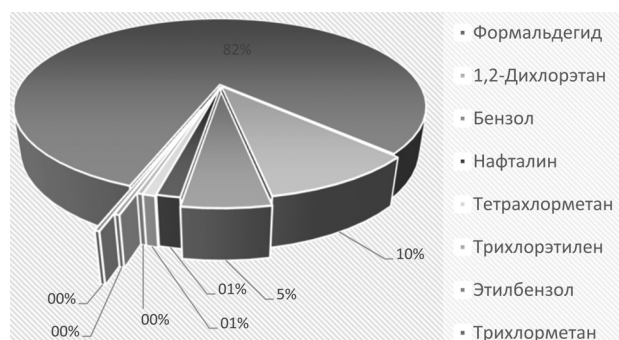
Код	Вещество	Min	Max
		мг/(кг день)	
1325	Формальдегид	7,3Е-05	1,3Е-04
602	Бензол	8,2Е-06	1,5Е-05
856	1,2-Дихлорэтан	4,4Е-06	8,0Е-06
627	Этилбензол	3,2Е-06	5,7Е-06
902	Трихлорэтилен	2,3Е-06	4,2Е-06
898	Трихлорметан	1,5Е-06	2,7Е-06
906	Тетрахлорметан	6,1Е-07	1,1Е-06
708	Нафталин	5,0Е-07	9,0Е-07

С целью оценки канцерогенного риска от выбросов предприятия применялся SFi, характеризующий дополнительный индивидуальный канцерогенный риск или степень увеличения вероятности развития рака при ингаляционном воздействии химических веществ, являющихся канцерогенами [11].

Количественная оценка риска развития неканцерогенных эффектов при хроническом ингаляционном воздействии проводилась по величине коэффициента опасности, представляющего собой соотношение между воздействующей среднегодовой концентрацией референтным (безопасным для здоровья) уровнем воздействия.

Изучение структурного вклада отдельных канцерогенов в суммарные уровни риска в расчетных точках показало, что максимальный вклад в значения суммарного канцерогенного риска вносит формальдегид (до 82 %) (рисунок). Индивидуальный канцерогенный риск от воздействия формальдегида регистрируется на уровне 10⁻⁶; от бензола и 1,2-дихлорэтана — 10⁻⁷; от нафталина — 10⁻⁷–10⁻⁸; от этилбензола, трихлорметана, трихлорэтилена, тетрахлормета — 10⁻⁸.

Максимальные значения канцерогенного риска от воздействия формальдегида в расчетных точках достигают значения 5,8×10⁻⁶. Уровни индивидуального канцерогенного риска от воздействия формальдегида



Вклад отдельных канцерогенов в суммарные уровни канцерогенного риска, %

соответствуют второму диапазону риска (предельно допустимому риску, т. е. верхней границе приемлемого риска). Данные уровни подлежат постоянному контролю [11].

Анализ территориального распределения величин суммарного индивидуального канцерогенного риска показал, что величина рассчитанного риска не превышает значения $7,4E-06$.

Вероятность развития неканцерогенных эффектов в расчетных точках была оценена от воздействия всех приоритетных веществ. Рассчитаны суммарные индексы опасности при воздействии на критические органы и системы (органы дыхания, центральная

нервная система и др.), оценено влияние на процессы развития.

Значения хронического неканцерогенного риска в расчетных точках для приоритетных загрязняющих веществ и суммарные индексы опасности при воздействии на основные критические органы и системы представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 6

Диапазоны суммарных индексов опасности при одновременном поступлении приоритетных загрязнителей по влиянию на критические органы и системы

Критические органы и системы	Min	Max
Органы дыхания	0,25	0,46
Иммунная система	0,09	0,16
Глаза	0,09	0,15
Центральная нервная система	$7,5E-03$	$1,4E-02$
Почки	$6,5E-03$	$1,2E-02$
Кровотворная система	$5,5E-03$	$1,0E-02$
Процессы развития	$1,5E-03$	$2,6E-03$
Сердечно-сосудистая система	$1,5E-03$	$2,6E-03$
Эндокринная система	$1,1E-03$	$2,0E-03$
Печень	$1,0E-03$	$1,9E-03$
Красный костный мозг	$9,6E-04$	$1,7E-03$
Репродуктивная система	$9,6E-04$	$1,7E-03$
Нервная система	$5,7E-05$	$1,0E-04$

Таблица 5

Диапазоны значений коэффициентов опасности приоритетных загрязнителей в расчетных точках

Код	Вещество	Min	Max
333	Дигидросульфид (Сероводород)	0,15	0,27
1325	Формальдегид	$8,5E-02$	$1,5E-01$
303	Аммиак	$1,0E-02$	$2,0E-02$
626	Триметилбензол	$4,6E-03$	$8,2E-03$
1716	Смесь природных меркаптанов	$1,3E-03$	$2,4E-03$
602	Бензол	$9,6E-04$	$1,7E-03$
612	(1-Метилэтил)бензол (Изопропилбензол, Кумол)	$8,8E-04$	$1,6E-03$
622	Тетраметилбензол	$7,5E-04$	$1,4E-03$
708	Нафталин	$5,8E-04$	$1,0E-03$
410	Метан	$4,0E-04$	$7,4E-04$
1071	Гидроксibenзол (Фенол)	$3,6E-04$	$6,6E-04$
640	1,4-Диметилбензол (п-Ксилол)	$2,4E-04$	$4,3E-04$
902	Трихлорэтилен	$2,1E-04$	$3,7E-04$
639	1,2-Диметилбензол (о-Ксилол)	$8,2E-05$	$1,5E-04$
403	Гексан	$5,7E-05$	$1,0E-04$
906	Тетрахлорметан	$5,3E-05$	$9,6E-05$
898	Трихлорметан	$5,3E-05$	$9,6E-05$
856	1,2-Дихлорэтан	$3,9E-05$	$7,0E-05$
707	Метилнафталин	$3,3E-05$	$6,0E-05$
2213	3,7,7-Триметилбисцикло[4,1,0]гепт-3-ен (3-Карен)	$1,2E-05$	$2,2E-05$
627	Этилбензол	$1,1E-05$	$2,0E-05$
1051	Изопропиловый спирт	$2,4E-06$	$4,4E-06$
1409	Метилэтилкетон	$2,1E-06$	$3,8E-06$
1706	Диметилдисульфид	$1,7E-06$	$3,2E-06$
621	Метилбензол (Толуол)	$1,4E-06$	$2,5E-06$

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ на рассматриваемой территории не превышают допустимых значений риска (1). Максимальные значения коэффициентов опасности в расчетных точках при хроническом воздействии загрязняющих веществ обусловлены воздействием дигидросульфида (сероводорода) — 0,27.

Величины суммарных индексов опасности на все приоритетные органы и системы не превышают допустимых значений (1). Максимальные значения индекса опасности воздействия в расчетных точках составляют для органов дыхания 0,46; для иммунной системы — 0,16; для глаз — 0,15; для остальных органов и систем значения риска не превысят 0,01.

Данные уровни риска были оценены как минимальные, что свидетельствует о малой вероятности проявления неблагоприятных эффектов при комбинированном воздействии приоритетных загрязнителей.

Обсуждение результатов

В отечественной и зарубежной научной литературе имеются публикации, в которых представлены результаты исследований ОСВ, оценена степень их воздействия на окружающую среду, в том числе после применения разных технологий по обезвреживанию, отличающихся как принципом, так и механизмом действия.

В России и странах СНГ осадки сточных вод практически не вовлекаются во вторичный хозяйственный оборот, а размещаются на полигонах. Около 15 тыс. санкционированных объектов размещения отходов,

в том числе полигоны ОСВ, занимают территорию общей площадью 4 млн гектаров, и эта территория ежегодно увеличивается на 300–400 тыс. гектаров, являясь источником загрязнения окружающей среды и создавая негативное воздействие на здоровье населения, проживающего в непосредственной близости [2, 6, 7, 14, 19].

В странах Западной Европы, США, Японии и других развитых странах ОСВ используют вторично. Например, в сельском хозяйстве, в качестве удобрения. По своим составу и свойствам ОСВ не уступают органическим сельскохозяйственным удобрениям [3, 20, 23, 25, 28]. В крупных мегаполисах России, где действует общесплавная система канализации и различные виды сточных вод отводятся совместно, образующиеся при очистке сточных вод осадки характеризуются наличием высоких концентраций тяжелых металлов (в составе промышленных сточных вод), что затрудняет использование осадков в сельском хозяйстве [3, 6, 15]. Еще одним методом обращения с ОСВ, широко применяемым во всем мире, является метод сжигания осадков с получением биотоплива и энергии [4, 26, 34]. В России данный метод применяется на станциях аэрации Санкт-Петербурга, где уже более 20 лет образующиеся осадки сжигают. На выходе образуется зола, которая, не найдя применения, складывается на полигоне. Объемы образующейся после сжигания золы на порядок меньше объема осадка. Кроме того, зола не оказывает негативного влияния на атмосферный воздух и тяжелые металлы, содержащиеся в ней, находятся в связанном, неспособном к миграции в сопредельные среды, виде [6].

Несмотря на опасность для окружающей среды метода складирования ОСВ на полигоне – загрязнение прилегающей почвы, подземных и поверхностных вод тяжелыми металлами и микроорганизмами, эмиссия в атмосферный воздух целого ряда опасных химических веществ, в том числе канцерогенов – данный метод является широкораспространенным в многочисленных городах России и в странах СНГ, чему посвящено множество научных работ [2, 6, 7, 14, 15].

При выполнении нашего исследования был также изучен один из многочисленных факторов негативного воздействия на окружающую среду, а именно последствия длительного складирования ОСВ на полигоне и воздействие формирующихся при этом выбросов при химическом разложении ОСВ на атмосферный воздух прилегающей территории. Кроме того, была выполнена оценка риска здоровью населения, проживающего в зоне жизнедеятельности полигона, на основании данных расчета полей рассеивания.

Таким образом, объектом нашего исследования являлся полигон «Северный» ГУП «Водоканал СПб», расположенный в непосредственной близости от жилых кварталов Выборгского и Приморского районов Санкт-Петербурга. Полигон заполнен ОСВ более чем на 90 % проектной мощности. И хотя ОСВ в настоящее время на полигон не вывозятся, накопленные десятилетиями миллионы кубометров

осадков являются угрозой загрязнения окружающей среде и здоровью населения, проживающего на прилегающих к полигону территориях.

На сегодняшний день на полигоне «Северный» активно ведутся работы по переработке накопленных осадков с помощью современной экологически благоприятной технологии геотубирования. Суть данной технологии заключается в статическом обезвоживании осадков, помещенных в объемные мелкопористые мешки (геотубы). Предварительно в осадок добавляют реагенты для дезинфекции, дезодорации, связывания и осаждения тяжелых металлов и прочих химических соединений, после чего хранят осадок на протяжении года в геотубах. Санитарно-химические, бактериологические, паразитологические, токсикологические лабораторные исследования продукта, полученного методом геотубирования ОСВ, свидетельствуют о его санитарно-эпидемиологической безопасности для окружающей среды [6, 14, 15]. Но, к сожалению, дать комплексную гигиеническую оценку влиянию продукта геотубирования на атмосферный воздух на данном этапе исследования не представляется возможным. После полного завершения процесса переработки накопленных ОСВ имеются перспективы продолжения данного научного направления с целью гигиенического обоснования эффективности применения методов складирования и геотубирования ОСВ.

Заключение

Изучение структурного вклада отдельных канцерогенов в суммарные уровни риска в расчетных точках показало, что максимальный вклад в значения суммарного канцерогенного риска вносит формальдегид (до 82 %). Максимальные значения канцерогенного риска от воздействия формальдегида в расчетных точках достигают значения $5,8 \times 10^{-6}$. Уровни индивидуального канцерогенного риска от воздействия формальдегида соответствуют второму диапазону риска (предельно допустимому риску, т. е. верхней границе приемлемого риска). Данные уровни подлежат постоянному контролю.

Анализ величин суммарного индивидуального канцерогенного риска показал, что величина рассчитанного риска не превысит значения $7,4 \times 10^{-6}$.

Оценка хронического неканцерогенного риска показала, что уровни риска от воздействия всех приоритетных загрязняющих веществ на рассматриваемой территории не превышают допустимых значений риска (1). Максимальные значения коэффициентов опасности в расчетных точках при хроническом воздействии загрязняющих веществ обусловлены воздействием дигидросульфида (сероводорода) – 0,27.

Величины суммарных индексов опасности на все приоритетные органы и системы не превышают допустимых значений (1). Максимальные значения индекса опасности воздействия в расчетных точках составляют на органы дыхания 0,46; на иммунную систему – 0,16; на глаза – 0,15; на остальные органы и системы значения риска не превысят 0,01.

Данные уровни риска были оценены как минимальные, что свидетельствует о малой вероятности проявления неблагоприятных эффектов при комбинированном воздействии приоритетных загрязнителей.

Таким образом, гигиеническая оценка воздействия выбросов из тела полигона для складирования осадков сточных вод на здоровье населения показала, что данный объект через воздействие на атмосферный воздух не создаёт неприемлемых рисков для здоровья населения и может в связи с этим быть расценен как благополучный с гигиенической точки зрения.

Авторство

Концепция и дизайн исследования — Мироненко О. В., Суворова О. К.; сбор и обработка материалов — Мироненко О. В., Магомедов Х. К., Панькин А. В., Федорова Е. А.; статистическая обработка — Панькин А. В., Киселев А. В.; написание текста — Мироненко О. В., Панькин А. В., Суворова О. К.; редактирование — Магомедов Х. К., Федорова Е. А.; утверждение окончательного варианта статьи — Мироненко О. В.; ответственность за целостность всех частей статьи — Магомедов Х. К.

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

Мироненко Ольга Васильевна — SPIN 9368-7627; ORCID 0000-0002-1484-8251

Киселев Анатолий Владимирович — SPIN 7856-3975, ORCID 0000-0001-9182-2795

Магомедов Хамзат Курбанович — SPIN 4532-3329, ORCID 0000-0002-1521-551X

Панькин Андрей Владимирович — ORCID 0000-0002-7645-2199

Суворова Оксана Константиновна — SPIN 8383-4199; ORCID 0000-0001-5826-5464

Федорова Екатерина Андреевна — SPIN 3407-7243, ORCID 0000-0002-9233-7203

Список литературы

1. Беляев Е. Н. Итоги внедрения методологии оценки риска в Российской Федерации // Материалы съезда гигиенистов и санитарных врачей. 2007. С. 596–599.
2. Гриценко А. В., Горбань Н. С., Ревякина Н. Ю. Влияние канализационных осадков на экологическое состояние природной среды, обработка и утилизация осадков сточных вод // Проблемы охраны окружающей природной среды и экологической безопасности: сборник научных трудов. Харьков: УкрНИИЭП, 2011. С. 111–122.
3. Зайцева Н. А., Пырскова А. Н. Использование осадков сточных вод в качестве удобрений // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. С. 104–107.
4. Калинина Е. В., Добрынина О. М. Экспериментальные исследования по получению биогаза из избыточного активного ила г. Перми // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2012. Т. 4. С. 323–329.
5. Киселев А. В., Кислицин В. А., Новиков С. М. Сравнительный анализ расчетных методов определения средних ингаляционных экспозиционных нагрузок при оценке риска здоровью // Среда обитания, образ жизни и здоровье: материалы XXXVIII научной конференции «Хлопинские чтения», Санкт-Петербург, 2005. С. 149–152.
6. Магомедов Х. К., Фридман К. Б., Белкин А. С., Носков С. Н. Гигиеническая оценка метода геотубирования осадков городских очистных сооружений канализации // Гигиена и санитария. 2017. № 7. С. 623–626.
7. Мироненко О. В., Копытенкова О. И., Леванчук А. В., Магомедов Х. К. Гигиеническая оценка влияния метана, поступающего из тела полигона для складирования осадков сточных вод, на состояние воздушного бассейна // Вестник СПбГУ. 2018. № 3. С. 316–324.
8. Новиков С. М., Жолдакова З. И., Румянцев Г. И. Проблемы прогнозирования и оценки общей химической нагрузки на организм человека с применением компьютерных технологий // Гигиена и санитария. 1997. № 4. С. 3–8.
9. Онищенко Г. Г., Новиков С. М., Рахманин Ю. А., Авалиани С. Л., Буштуева К. А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 2002. 408 с.
10. Оценка риска для здоровья. Опыт применения методологии оценки риска в России. Обоснование приоритетности природоохранных мероприятий в Самарской области на основе эффективности затрат по снижению риска для здоровья населения. М.: Консультационный центр по оценке риска, 1999.
11. Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей природной среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.
12. Рахманин Ю. А., Новиков С. М., Авалиани С. Л., Синицына О. О., Шашина Т. А. Современные проблемы оценки риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения и пути ее совершенствования // Анализ риска здоровью. 2015. № 2. С. 4–11.
13. Свергузова С. В., Севостьянов В. С., Шайхиев И. Г., Сапронова Ж. А., Спирин М. Н. Использование осадков от очистки сточных вод и рекультивации иловых карт — актуальная задача рационального природопользования // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 4. С. 119–202.
14. Фридман К. Б., Мироненко О. В., Белкин А. С., Носков С. Н., Магомедов Х. К. Экспериментальное обоснование программы гигиенической оценки метода геотубирования при складировании осадков городских сточных вод // Вестник СПбГУ. 2017. № 2. С. 202–211.
15. Фридман К. Б., Лобанов Ф. И., Крюкова Т. В., Магомедов Х. К., Романцова В. Л. Современные технологии утилизации осадков очистных сооружений канализации в Санкт-Петербурге // Профилактическая и клиническая медицина. 2015. № 2 (55). С. 28–31.
16. Шугаев Б. Б. Материалы XII научной сессии по химии и технологии органических соединений серы и сернистых нефтей. Рига, 6–9 декабря 1971 г. Рига: Зинатне, 1971. С. 472–474.
17. Щербо А. П. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска. СПбМАПО, 2002. 376 с.
18. Щербо А. П., Киселев А. В. Оценка риска воздействия факторов окружающей среды на здоровье. СПб., 2005. 92 с.
19. Angin I., Yaganoglu A. V. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion // Journal of Agricultural Science Technology. 2011. N 1 (3). P. 757–768.
20. Bolzonella A., Cavinato C., Fatone F. High rate mesophilic, thermophilic, and temperature phased anaerobic digestion of waste activated sludge: A pilot scale study // Waste Management. 2012. Vol. 32. P. 1196–1201.

21. Colangelo F., Cioffi R., Montagnaro F., Santoro L. Soluble salt removal from MSWI fly ash and its stabilization for safer disposal and recovery as road basement material // *Waste Management*. 2012. Vol. 32 (6). P. 1179–1185.
 22. Cusido J. A., Cremades L. V. Environmental effects of using clay bricks produced with sewage sludge. Leachability and toxicity studies // *Waste Management*. 2012. Vol. 32 (6). P. 1202–1208.
 23. Donatello S., Cheeseman C. R. Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash // *Waste Management*. 2013. Vol. 33 (11). P. 2328–2340.
 24. Elsom D. M. *Atmospheric Pollution: A Global Problem* (2nd edition). Oxford: Blackwell Publishers, 1995. 422 p.
 25. Herzel H., Kruger O., Hermann L., Adam C. Sewage sludge ash – a promising secondary phosphorus source for fertilizer production // *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 542, part B. P. 1136–1143.
 26. Judex J. W., Gaiffi M., Burghbacher H. C. Gasification of dried sewage sludge: Status of the demonstration and the pilot plant // *Waste Management*. 2012. Vol. 32 (4). P. 719–723.
 27. Kelessidis A., Stasinakis A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries // *Waste Management*. 2012. Vol. 32 (6). P. 1186–1195.
 28. Li J., Poon C. S. Innovative solidification stabilization of lead contaminated soil using incineration sewage sludge ash // *Chemosphere*. 2017. Vol. 173. P. 143–152.
 29. Seinfeld J. H., Pandis S. N. *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. NY: Wiley-Interscience, 1997. 1360 p.
 30. Targeted National Sewage Sludge Survey: Statistical Analysis Report. EPA-822-R-08-018. U. S. Environmental Protection Agency. USA, Washington, 2009. 58 p.
 31. Tornton I., Butler D., Docx P., Hession V., Macropoulos C., McMullen M., et al. Pollutants in urban waste water and sewage sludge // Final report. London. ICON, 2001. 273 p.
 32. Uggetti E., Argilaga A., Ferrer I., Garcia J. Dewatering model for optimal operation of sludge treatment wetlands // *Water Research*. 2012. P. 335–344.
 33. Wang Y., Chen G., Li Y., Yan Be., Pan D. Experimental study of the bio-oil production from sewage sludge by supercritical conversion process // *Waste Management*. 2013. Vol. 33. P. 2408–2415.
 34. Zhang X., Matsuto T. Assessment of internal condition of waste in a roofed landfill // *Waste Management*. 2013. Vol. 33. P. 102–108.
 35. Zerlotti M., Refosco D., Della Zassa M. Self-heating of dried wastewater sludge // *Waste Management*. 2012. 33 (1). P. 129–137.
- References**
1. Belyaev E. N. Itogi vnedreniya metodologii otsenki riska v Rossiiskoi Federatsii [Results of the implementation of the risk assessment methodology in the Russian Federation]. *Materialy s'ezda gigienistov i sanitarnykh vrachei, 2007* [Materials of the Congress of Hygienists and Sanitary Doctors, 2007]. 2007, pp. 596–599.
 2. Gritsenko A. V., Gorban' N. S., Revyakina N. Yu. Vliyaniye kanalizatsionnykh osadkov na ekologicheskoe sostoyaniye prirodnoi sredy, obrabotka i utilizatsiya osadkov stochnykh vod [The effect of sewage sludge on the ecological state of the environment, treatment and disposal of sewage sludge]. *Problemy okhrany okruzhayushchei prirodnoi sredy i ekologicheskoi bezopasnosti: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of environmental protection and environmental safety: a collection of scientific papers]. Kharkov, UkrNIIEP, 2011, pp. 111–122.
 3. Zaitseva N. A., Pyrsikova A. N. Ispol'zovanie osadkov stochnykh vod v kachestve udobrenii [The use of sewage sludge as fertilizers]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Research Journal]. 2015, pp. 104–107. [In Russian]
 4. Kalinina E. V., Dobrynina O. M. Eksperimental'nye issledovaniya po polucheniyu biogaza iz izbytochnogo aktivnogo ila g. Permi [Experimental studies on the production of biogas from excess activated sludge in Perm]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and scientific research in the transport complex]. 2012, 4, pp. 323–329.
 5. Kiselev A. V., Kisitsin V. A., Novikov S. M. Sravnitel'nyi analiz raschetnykh metodov opredeleniya srednikh ingalyatsionnykh ekspozitsionnykh nagruzok pri otsenke riska zdorov'yu [Comparative analysis of calculation methods for determining the average exposure inhalation when assessing health risk]. «Sreda obitaniya, obraz zhizni i zdorov'ye», *Materialy XXXVIII nauchnoi konferentsii «Khlopinskie chteniya», Sankt-Peterburg, 2005*. [“Habitat, lifestyle and health”, Materials of the XXXVIII scientific conference “Khlopin readings”, St. Petersburg, 2005]. Saint-Petersburg, 2005, pp. 149–152.
 6. Magomedov Kh. K., Fridman K. B., Belkin A. S., Noskov S. N. Hygienic assessment of the method of geotubing sediments of urban sewage treatment plants. *Gigiena i Sanitariya*. 2017, 7, pp. 623–626. [In Russian].
 7. Mironenko O. V., Kopytenko O. I., Levanchuk A. V., Magomedov Kh. K. Hygienic assessment of the effect of methane coming from the body of a landfill for storing sewage sludge on the state of the air basin. *Vestnik SPbGU* [Bulletin of Saint Petersburg State University]. 2018, 3, pp. 316–324. [In Russian].
 8. Novikov S. M., Zholdakova Z. I., Rumyantsev G. I. Problems of forecasting and assessing the total chemical load on the human body using computer technology. *Gigiena i Sanitariya*. 1997, 4, pp. 3–8. [In Russian].
 9. Onishchenko G. G., Novikov S. M., Rakhmanin Yu. A., Avaliani S. L., Bushtueva K. A. *Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu* [Basics of risk assessment for public health when exposed to chemicals polluting the environment]. Moscow, 2002, 408 p.
 10. *Otsenka riska dlya zdorov'ya. Opyt primeneniya metodologii otsenki riska v Rossii. Obosnovanie prioritetnosti prirodookhrannykh meropriyatii v Samarskoi oblasti na osnove effektivnosti zatrat po snizheniyu riska dlya zdorov'ya naseleniya* [Health risk assessment. Experience in applying risk assessment methodology in Russia. Justification of the priority of environmental protection measures in the Samara region on the basis of cost-effectiveness to reduce the risk to public health]. Moscow, Consultation Center for Risk Assessment, 1999.
 11. R 2.1.10.1920-04. 2.1.9. The state of health of the population in connection with the state of the environment and living conditions of the population. Guidelines for Assessing Public Health Risks from Exposure to Chemicals Polluting the Environment. Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2004. [In Russian]
 12. Rakhmanin Yu. A., Novikov S. M., Avaliani S. L., Sinitsyna O. O., Shashina T. A. Modern problems of assessing

the risk of environmental factors on public health and ways to improve it. *Analiz riska zdorov'yu* [Health risk analysis]. 2015, 2, pp. 4-11. [In Russian]

13. Sverguzova S. V., Sevost'yanov V. S., Shaikhiev I. G., Sapronova Zh. A., Spirin M. N. The use of sludge from wastewater treatment and sludge reclamation is an urgent task of environmental management. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2013, 16 (4), pp. 119-202. [In Russian]

14. Fridman K. B., Mironenko O. V., Belkin A. S., Noskov S. N., Magomedov Kh. K. Experimental substantiation of the program of hygienic assessment of the geotubing method when storing sediments of urban wastewater. *Vestnik SPbGU* [Bulletin of Saint Petersburg State University]. 2017, 2, pp. 202-211. [In Russian]

15. Fridman K. B., Lobanov F. I., Kryukova T. V., Magomedov Kh. K., Romantsova V. L. Modern technologies for the utilization of sludge from sewage treatment plants in St. Petersburg. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina* [Preventive and clinical medicine]. 2015, 2 (55), pp. 28-31. [In Russian]

16. Shugaev B. B. In: *Materialy XII nauchnoi sessii po khimii i tekhnologii organicheskikh soedinenii sery i sernistykh neftei, Riga, 6-9 dekabrya 1971* [Materials of the XII scientific session on chemistry and technology of organic compounds of sulfur and sulphurous oils. Riga, 6-9 december 1971]. Riga, Zinatne, 1971, pp. 472-474.

17. Shcherbo A. P. *Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e: podkhody k otsenke riska* [Environment and health: approaches to risk assessment]. Saint Petersburg, 2002, 376 p.

18. Shcherbo A. P., Kiselev A. V. *Otsenka riska vozdeistviya faktorov okruzhayushchei sredy na zdorov'e* [Health risk assessment of environmental factors]. Saint Petersburg, 2005, 92 p.

19. Angin I., Yaganoglu A. V. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. *Journal of Agricultural Science Technology*. 2011, 1 (3), pp. 757-768.

20. Bolzonella A., Cavinato C., Fatone F. High rate mesophilic, thermophilic, and temperature phased anaerobic digestion of waste activated sludge: A pilot scale study. *Waste Management*. 2012, 32, pp. 1196-1201.

21. Colangelo F., Cioffi R., Montagnaro F., Santoro L. Soluble salt removal from MSWI fly ash and its stabilization for safer disposal and recovery as road basement material. *Waste Management*. 2012, 32 (6), pp. 1179-1185.

22. Cusido J. A., Cremades L. V. Environmental effects of using clay bricks produced with sewage sludge. Leachability and toxicity studies. *Waste Management*. 2012, 32 (6), pp. 1202-1208.

23. Donatello S., Cheeseman C. R. Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash. *Waste Management*. 2013, 33 (11), pp. 2328-2340.

24. Elsom D. M. *Atmospheric Pollution: A Global Problem* (2nd edition). Oxford, Blackwell Publishers, 1995, 422 p.

25. Herzel H., Kruger O., Hermann L., Adam C. Sewage sludge ash - a promising secondary phosphorus source for fertilizer production. *Science of the Total Environment*. 2016, 542 (B), pp. 1136-1143.

26. Judex J. W., Gaiffi M., Burghbacher H. C. Gasification of dried sewage sludge: Status of the demonstration and the pilot plant. *Waste Management*. 2012, 32 (4), pp. 719-723.

27. Kelessidis A., Stasinakis A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*. 2012, 32 (6), pp. 1186-1195.

28. Li J., Poon C. S. Innovative solidification stabilization of lead contaminated soil using incineration sewage sludge ash. *Chemosphere*. 2017, 173, pp. 143-152.

29. Seinfeld J. H., Pandis S. N. *Atmospheric chemistry and physics*. From air pollution to climate change. NY, Wiley-Interscience, 1997, 1360 p.

30. Targeted National Sewage Sludge Survey: Statistical Analysis Report. EPA-822-R-08-018. U. S. Environmental Protection Agency. USA, Washington, 2009, 58 p.

31. Tornton I., Butler D., Docx P., Hession V., Macropoulos C., McMullen M., et al. Pollutants in urban waste water and sewage sludge. *Final report*, London, ICON, 2001, 273 p.

32. Uggetti E., Argilaga A., Ferrer I., Garcia J. Dewatering model for optimal operation of sludge treatment wetlands. *Water Research*. 2012, pp. 335-344.

33. Wang Y., Chen G., Li Y., Yan Be., Pan D. Experimental study of the bio-oil production from sewage sludge by supercritical conversion process. *Waste Management*. 2013, 33, pp. 2408-2415.

34. Zhang X., Matsuto T. Assessment of internal condition of waste in a roofed landfill. *Waste Management*. 2013, 33, pp. 102-108.

35. Zerlotti M., Refosco D., Della Zassa M. Self-heating of dried wastewater sludge. *Waste Management*. 2013, 33 (1), pp. 129-137.

Контактная информация:

Магомедов Хамзат Курбанович — ассистент кафедры коммунальной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И. И. Мечникова»

Адрес: 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41
E-mail: xamzat1985@mail.ru