

ГИГИЕНА

УДК 614.71:662.767.1

**Гигиеническая оценка влияния метана,
поступающего из тела полигона
для складирования осадков сточных вод,
на состояние воздушного бассейна***О. В. Мироненко¹, О. И. Копытенкова²,
А. В. Леванчук², Х. К. Магомедов²*¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова,
Российская Федерация, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

Для цитирования: *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 Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2018. Т. 13. Вып. 3. С. 316–324. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2018.308>

В атмосферном воздухе многих городов Российской Федерации в последнее время отмечается рост концентрации формальдегида, и далеко не всегда это удается связать с конкретным источником-загрязнителем. Атмосферный воздух является средой, в которой непрерывно протекают химические реакции трансформации одних веществ в другие под влиянием различных факторов, в первую очередь климатических. При определенной температуре воздуха метан способен окисляться до формальдегида, увеличивая его концентрацию в атмосфере. Одним из направлений исследования является мониторинг содержания формальдегида в атмосфере полигона складирования осадков сточных вод «Северный» ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и прилегающей территории в зависимости от температуры воздуха и концентрации метана.

Ключевые слова: осадки сточных вод, формальдегид, загрязнение атмосферного воздуха, трансформация метана, метеоусловия.

Введение

С ростом численности населения, интенсификацией процессов урбанизации и индустриализации возрастают масштабы производственной деятельности, что обуславливает необходимость решения одной из актуальных проблем — оптимизации взаимодействия человека и природы, направленной не только на сохранение, но и на улучшение состояния окружающей среды, а также на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия человека [1].

На этом фоне повсеместное развитие и наращивание темпов производства в совокупности с неперенной, продиктованной совершенствованием науки и техники, сменой приоритетных моделей использования природных ресурсов влечет за собой необходимость коррекции существующих подходов к оценке безопасного использования осадков сточных вод. В развитых странах на одного жителя в год образуется в среднем 20 кг сухого вещества осадка (или около 50 г на человека в сутки), а в расчете на городского жителя эта цифра увеличивается до 25 кг сухого вещества [2]. В связи с этим актуальность проблемы утилизации получаемого осадка различными методами и необходимость гигиенической оценки его безопасности для окружающей среды и здоровья населения не вызывают сомнений.

По своей структуре осадки сточных вод представляют сложную дисперсную систему, в которой дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсионной средой — сточная вода с растворенными в ней электролитами и органическими веществами [3]. Они образуются в результате осаждения сточных вод после отстаивания и представляют токсикологическую и эпидемиологическую опасность, что, с одной стороны, определяется многообразием химического состава, а с другой — значительным содержанием органических веществ (75–80% от общей массы), патогенной микрофлоры, вирусов, яиц гельминтов [4].

Большие объемы, микробная контаминация, наличие органических веществ, вызывающих процессы разложения с выделением неприятных запахов, неоднородность химического состава и физико-химических свойств осложняют обработку осадков, создают дополнительные эколого-гигиенические проблемы.

Содержащиеся в осадках токсичные вещества и патогенные микроорганизмы, проникая в воздух, почву и подземные воды, вызывают значительное загрязнение окружающей среды, создают эпидемическую опасность и ухудшение санитарно-гигиенических условий жизни людей.

В мировой практике известно более 20 методов обезвреживания и утилизации бытовых отходов, которые имеют отношение и к осадкам сточных вод. Методы обезвреживания и переработки ТБО по конечной цели возможно разделить на ликвидационные (решающие в основном санитарно-гигиенические задачи) и утилизационные (решающие также и задачи экономики за счет использования вторичных ресурсов); по технологическому принципу — на биологические, термические, химические, механические, смешанные. Большинство этих методов не нашли сколько-нибудь значительного распространения в связи с их технологической сложностью и сравнительно высокой себестоимостью [5]. Наибольшее практическое распространение в мировой практике получили экономически наиболее оправданные методы, к которым можно отнести складирование, сжигание, компо-

стирование — использование компоста в качестве удобрения или для рекультивации нарушенных земель.

Складирование на полигонах — наиболее простой и дешевый метод, который подразумевает использование специального водонепроницаемого основания, что на практике лишь несколько замедляет процессы фильтрации токсичных соединений в грунтовые воды и водоемы. Находить площади в 40–200 га вблизи крупных городов с условием срока эксплуатации не менее 15–20 лет становится все труднее, и это заставляет искать иные методы утилизации. Но основным аргументом, доказывающим негативное воздействие на окружающую среду такого способа утилизации отходов, является рост заболеваемости населения, проживающего в зоне влияния полигонов. Выделение метана (свалочного газа) из тела полигона в постоянном режиме на протяжении всего его жизненного цикла на фоне полного отсутствия возможности быстрой рекультивации — один из несомненно отрицательных факторов воздействия полигонов на здоровье населения.

Россия не является исключением в применении технологий складирования значительной части получаемых осадков сточных вод, такие страны, как Греция, страны ЕС (Бельгия, Италия, Дания, Финляндия, Франция и др.), в течение многих лет практиковали использование аналогичных технологий. Наряду с фильтратом, загрязняющим водоносные горизонты, полигон выбрасывает в атмосферу метан и другие токсичные газы, что загрязняет атмосферный воздух населенных мест, расположенных вблизи полигона. Так, на первом этапе нашего исследования доказано, что использование технологии геотубирования позволяет получить на выходе обезвоженный осадок, безопасный для окружающей среды. В результате естественного компостирования органических соединений в мешке-«геотубе» полученный продукт не выделяет в атмосферный воздух опасные для человека вещества, что, безусловно, является альтернативой технологии складирования.

Материалы и методы

Объектом второго этапа нашего исследования является атмосферный воздух с тела полигона складирования осадков сточных вод «Северный», а также атмосферный воздух прилегающей к полигону территории.

Отбор проб производился в соответствии с методикой, представленной в «Руководстве по контролю загрязнения атмосферы», — в каждом пункте отбирались пробы атмосферного воздуха на сорбенты в тедларовый мешок и проводились измерения на газоанализаторе ГАНК-4 (АР) на высоте 10 см от поверхности и из-под колокола-накопителя. Для отбора проб воздуха использовались аспираторы ОП442ТЦ и А-01. Для отбора проб на сорбенты и прямого определения аммиака, сероводорода, формальдегида и меркаптанов использовался большой колокол-накопитель, для отбора проб на определение метана — пять малых колоколов-накопителей.

Статистическая обработка результатов проводилась следующим образом. При оценке распределений изучаемых показателей ориентировались на результаты теста Колмогорова–Смирнова. Выборочные распределения большинства изучаемых показателей (формальдегид, сероводород, аммиак, метан) значительно отличались от

нормального закона, при статистическом анализе применялись непараметрические тесты; при описании показателей в качестве меры центральной тенденции использованы медианы (*Me*), меры изменчивости — нижний (*Q1*) и верхний (*Q3*) квартили. Доверительные интервалы (95 %) вычислены по методу Уилсона (E. B. Wilson).

Результаты

Полигон для складирования осадков сточных вод «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 КАД, с западной — с Левашовским шоссе, за которым располагается строительная площадка автокомпонентов *Hyundai*, с северной — с аэродромом Левашово и поселком Новоселки, с восточной — с КАД, за которой располагается Успенское кладбище.

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

Площадь объекта 82 328 га согласно акту землеотвода. Объем складированных осадков 2,1 млн³ тонн. Полигон предназначен для складирования обезвоженного осадка сточных вод. Нормативный размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) 1000 м выдержан.

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. 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) осадков сточных вод.

От источников объекта в атмосферу поступает 30 загрязняющих веществ, в том числе: 2-го класса опасности — 10 соединений, 3-го класса опасности — 7, 4-го класса опасности — 6. Для 7 субстанций класс опасности не установлен, но введен ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ).

Ко 2-му классу опасности (высокоопасные) относятся следующие обнаруженные вещества: сероводород, бензол, 1,2,4,5-тетраметилбензол (дурол), 1,2,4-триметилбензол (псевдокумол), 1,2-дихлорэтан, трихлорметан (хлороформ), тетрахлорметан, октаналь (каприловый альдегид), фенол и формальдегид. Бензол, 1,2-дихлор-

этан, тетрахлорметан (углерод четыреххлористый), трихлорметан (хлороформ), формальдегид являются канцерогенами.

К 3-му классу опасности относятся: метилбензол (толуол), этилбензол, 1,2-диметилбензол (о-ксилол), 1,4-диметилбензол (п-ксилол), трихлорэтилен, пропанол (изопропиловый спирт) и смесь природных меркаптанов. Этилбензол и трихлорэтилен относятся к канцерогенам.

К 4-му классу опасности относятся: аммиак, гексан, изопропилбензол (кумол), нафталин, диметилдисульфид и предельные углеводороды C12–C19.

К веществам, для которых установлены ОБУВ, относятся: метан, метилпропилбензол, метилизопропилбензол, метилнафталин, метилэтилкетон, α -пинен и 3-карен.

Таким образом, для всех загрязняющих веществ имеются утвержденные гигиенические нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) или ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) в атмосферном воздухе населенных мест.

Несмотря на постоянно регистрируемые жалобы и обращения жителей п. Новоселки, п. Левашово и населения северных районов Санкт-Петербурга на запахи от указанных объектов, данные расчетов ПДВ показывают, что существенных превышений загрязняющих химических веществ на границе СЗЗ и на территории жилой застройки нет.

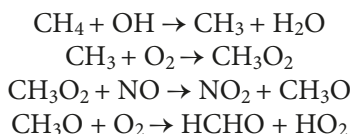
Наряду с этим в воздушный бассейн городов непрерывно поступают десятки и даже сотни различных веществ, выбрасываемых различными объектами, автотранспортом, различными котельными и другими производствами. Сжигание топлива при эксплуатации автомобильного транспорта на территории Санкт-Петербурга приводит к выделению в атмосферный воздух 49 656 т в год высокотоксичных по показателю канцерогенности полициклических ароматических углеводородов [6]. Выбросы представляют собой смесь разнообразных газообразных веществ, твердых и жидких взвешенных частиц, из которых многие имеют в атмосферном воздухе большую концентрацию.

Атмосфера является огромным реактором, в котором непрерывно происходят различные химические и фотохимические реакции с разрушением одних веществ и образованием других. Атмосфера постоянно стремится к созданию равновесных условий, но поступающие в нее техногенные химические вещества нарушают это равновесие, причем важную роль в этих процессах играют метеорологические условия. При неблагоприятных погодных условиях, высокой инсоляции и слабом ветре фотохимические реакции могут приводить к значительному увеличению концентрации вредных веществ до уровня, опасного для человека. Среди них особое внимание в последние годы привлекает формальдегид. Выбросы этого вещества промышленными предприятиями невелики, но его концентрация в атмосфере городов превышает ПДК в несколько раз. В последние годы число городов, в которых содержание формальдегида в воздухе превышает ПДК, возрастает. По результатам измерений формальдегид практически отсутствует в атмосфере зимой, а при повышении температуры воздуха летом его концентрация существенно возрастает [7].

При концентрациях, существенно превышающих предельно допустимую, формальдегид оказывает разнообразное токсическое воздействие на живые орга-

низмы. Степень и характер реакции организма зависят от времени воздействия, концентрации, способа контакта (вдыхание, прикосновение, поступление через ЖКТ и т. д.), а также от индивидуальной чувствительности организма. При любом способе поступления формальдегид проникает практически во все органы и ткани, действуя губительно на ЦНС человека и поражая слизистую оболочку глаз, дыхательные пути, вызывает отдаленные негативные последствия, например канцерогенный эффект.

Образование формальдегида в реакционной смеси при условиях, приближенных к атмосферным, зарегистрировано в процессе фотохимического окисления метана, этана, изопентана, этилена, пропилена, изопрена, толуола, метанола, диметилсульфида и некоторых других веществ. Примером этого может служить фотоокисление метана:



В атмосфере присутствует большое число других углеводородов, которые также могут способствовать образованию формальдегида, однако метан в высоких концентрациях более важен как компонент реакции образования формальдегида [8]. Исходя из этого в своей работе мы сосредоточились на двух веществах — формальдегиде и метане (образующемся в больших объемах в теле полигона осадков сточных вод в процессе разложения органики).

Для прогноза качества воздушной среды в районах размещения полигонов нами изучена взаимосвязь концентрации метана и формальдегида при различных метеорологических условиях. Проанализированы результаты физико-химических исследований атмосферного воздуха в районе полигона «Северный» с 2014 по 2017 г. Результаты представлены в *табл. 1* и *2*.

Установлено, что при уровне метана не более 200 мг/м³ концентрация формальдегида составляет от 0,001 до 0,08 мг/м³, не достигая и превышая ПДК (0,01 мг/м³) с одинаковой частотой (50%). При увеличении концентрации метана до 200 мг/м³ и выше подавляющее большинство (86,7%, $p = 0,014$) значений содержания формальдегида ниже уровня ПДК. Таким образом, с увеличением в атмосферном воздухе концентрации метана содержание формальдегида снижается.

Таблица 1. Количество обнаружений метана в зависимости от концентрации формальдегида в зоне влияния полигона, абс. число (%)

Формальдегид, мг/м ³	Метан, мг/м ³	
	<200	≥ 200
< 0,01	18 (50,0)	13 (86,7)
≥ 0,01	18 (50,0)	2 (13,3)
$\chi^2 = 5,97; p = 0,014$		

Таблица 2. Количество обнаружений формальдегида при разной температуре воздуха, абс. число (%)

Формальдегид, мг/м ³	Температура воздуха, С°		
	<0	0–15	>15
<0,01	6 (100,0)	13 (39,4)	12 (100,0)
≥0,01	0	20 (60,6)	0

Концентрация формальдегида при температуре 0–15 °С статистически значимо отличалась от таковой при температуре ниже 0 °С ($p = 0,0083$) и при температуре выше 15 °С ($p = 0,0003$).

Была обнаружена нелинейная связь содержания формальдегида с температурой — при $T < 0$ °С уровень формальдегида оказался ниже порога определения — $< 0,01$ мг/м³ (6% обнаружений); при T от 0 до 15 °С (включительно) зафиксированы значения формальдегида как ниже (39,4% обнаружений), так и выше 0,01 мг/м³ (60,6% обнаружений), с преобладанием значений, превышающих ПДК; при $T > 15$ °С все значения формальдегида ниже порога определения (12% обнаружений).

Выводы

Полигоны являются источником загрязнения атмосферного воздуха метаном (ОБУВ 50 мг/м³) и формальдегидом (2-й класс опасности, ПДК 0,01 мг/м³).

При температурном режиме от 0 до 15 °С (переходный сезон года) наблюдается интенсивная трансформация метана в присутствии озона атмосферного воздуха в формальдегид, т. е. переход из вещества, имеющего гигиенический норматив 50 мг/м³, в вещество с гигиеническим нормативом 0,01 мг/м³ (в 5000 раз меньше).

Результаты исследования дают возможность прогнозировать сезонное (весна — осень) ухудшение здоровья населения в зоне влияния полигонов за счет увеличения концентрации формальдегида в воздухе.

Литература

1. *Русаков Н. В., Рахманин Ю. А.* Отходы, окружающая среда, человек. М.: Медицина, 2004. 231 с.
2. Почва, отходы производства и потребления: Материалы конференции. Пенза, 1996. 222 с.
3. *Аликбаева Л. А., Сидорин Г. И., Луковникова Л. В., Рыжков А. Л., Фомин М. В., Бек А. В.* Токсичность и опасность отходов очистных сооружений урбанизированных территорий // Казан. мед. журн. 2009. № 90 (4). С. 513–517.
4. *Мирный А. Н.* Критерии выбора технологии обезвреживания и переработки твердых бытовых отходов // Чистый город. 1998. № 1. С. 8–15.
5. *Рахманин Ю. А., Леванчук А. В., Копытенкова О. И.* Совершенствование системы социально-гигиенического мониторинга территорий крупных городов // Гигиена и санитария. 2017. № 96 (4). С. 298–301.
6. *Безуглая Э. Ю., Воробьева И. А., Ивлева Т. П., Махоткина Е. Л.* Потепление как возможная причина повышения химической активности атмосферного воздуха городов // Труды Главной геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова. 2008. № 557. С. 159–183.
7. *Воробьева И. А.* Исследование причин формирования повышенных концентраций формальдегида в атмосфере города // Труды Главной геофиз. обсерв. им. А. И. Воейкова. 2008. № 557. С. 206–215.

Статья поступила в редакцию 24 апреля 2018 г.

Статья рекомендована в печать 5 июня 2018 г.

Контактная информация:

Ольга Васильевна Мироненко — д-р мед. наук, проф.; miroolga@yandex.ru

Ольга Ивановна Копытенкова — д-р мед. наук, проф.

Александр Владимирович Леванчук — д-р мед. наук, доц.

Хамзат Курбанович Магомедов — ассистент; hamzat1985@mail.ru

Hygienic evaluation of the influence of methane from the body of the range storage of sedimentary waste deposits on the condition of the airborne for

O. V. Mironenko¹, O. I. Kopytenkova², A. V. Levanchuk², Kh. K. Magomedov²

¹ St. Petersburg State University,

7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov,

41, Kirochnaya ul., St. Petersburg, 191015, Russian Federation

For citation: Mironenko O. V., Kopytenkova O. I., Levanchuk A. V., Magomedov Kh. K. Hygienic evaluation of the influence of methane from the body of the range storage of sedimentary waste deposits on the condition of the airborne for. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 2018, vol. 13, issue 3, pp. 316–324. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu11.2018.308> (In Russian)

In the atmospheric air of many cities of the Russian Federation growth of the concentration of formaldehyde is noted recently. It is not always connected with a concrete source pollutant. Atmospheric air is the environment in which chemical reactions of the transformation of substances in others, under the influence of various factors, first of all, the climatic continuously proceed. Thus, at a certain air temperature methane is able to transform to formaldehyde, increasing its concentration. In work changes of the content of formaldehyde in atmospheric air of the ground of warehousing of rainfall of “Nothern” sewage SUE “Vodokanal-SPb” and the adjacent territory, depending on the temperature of atmospheric air and concentration of methane are considered.

Keywords: sewage sludge, formaldehyde, air pollution, methane transformation, meteorological conditions.

References

1. Rusakov N. V., Rakhmanin Yu. A. *Otkhody, okruzhaiushchaia sreda, chelovek* [Waste, environment, man]. Moscow, Medicine, 2004. 231 p. (In Russian)
2. Pochva, otkhody proizvodstva i potrebleniia [Soil, wastes of production and consumption]. *Materialy konferentsii [Proceedings of the conference]*. Penza, 1996. 222 p. (In Russian)
3. Alikbaeva L. A., Sidorin G. I., Lukovnikova L. V., Ryzhkov A. L., Fomin M. V., Bek A. V. Toksichnost' i opasnost' otkhodov ochistnykh sooruzhenii urbanizirovannykh territorii [The Toxicity and Danger of Wastewater Treatment Facilities in Urban Areas]. *Kazan. med. zhurn. [Kazan Med. J.]*, 2009, no. 90 (4), pp. 513–517. (In Russian)
4. Mirnyi A. N. Kriterii vybora tekhnologii obezvezhivaniia i pererabotki tverdykh bytovykh otkhodov [The parameters of selection of technology for Treatment of warts]. *Chisty gorod*, 1998, no. 1, pp. 8–15.
5. Rakhmanin Yu. A., Levanchuk A. V., Kopytenkova O. I. Sovershenstvovanie sistemy sotsial'no-gigienicheskogo monitoringa territorii krupnykh gorodov [Perfection of the system of social and hygienic monitoring of territories of large cities]. *Gigiena i sanitariia [Hygiene and Sanitation]*, 2017, no. 96 (4), pp. 298–301. (In Russian)

6. Bezuglaya E. Y., Vorobyova I. A., Ivleva T. P., Makhotkina E. L. Poteplenie kak vozmozhnaia prichina povysheniia khimicheskoi aktivnosti atmosfernogo vozdukha gorodov [Warming as a possible cause of increasing the chemical activity of atmospheric air in cities]. *Trudy Glavnoi geofiz. observ. im. A. I. Voeikova* [Proceedings of the Main Geophys. Observ. named after A. I. Voeikov], 2008, no. 557, pp. 159–183. (In Russian)
7. Vorobyova I. A. Issledovanie prichin formirovaniia povyshennykh kontsentratsii formal'degida v atmosfere goroda [Investigation of the causes of formation of elevated concentrations of formaldehyde in the city atmosphere]. *Trudy Glavnoi geofiz. observ. im. A. I. Voeikova* [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov], 2008, no. 557, pp. 206–215. (In Russian)

Received: April 24, 2018.

Accepted: June 5, 2018.

Author's information:

Olga V. Mironenko — MD, Professor; miroolga@yandex.ru

Olga I. Kopytenkova — MD, Professor

Alexander V. Levanchuk — MD, Associate Professor

Khamzat K. Magomedov — assistant; xamzat1985@mail.ru