

ГИДРОХИМИЯ, ГИДРОБИОЛОГИЯ,
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 502.15 556.388 628.472.38

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
СВАЛКАМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ¹

© 2021 г. В. Л. Злобина^a, Ю. А. Медовар^a, И. О. Юшманов^{a, *}

^aИнститут водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

*e-mail: igorusha@iwp.ru

Поступила в редакцию 02.04.2020 г.

После доработки 13.08.2020 г.

Принята к публикации 16.10.2020 г.

Рассмотрено влияние полигонов твердых коммунальных отходов на окружающую среду, в том числе на подземные воды. Накопление бытовых отходов приводит к существенным изменениям физических, химических и биологических свойств подземных вод. В водозаборы попадают фильтраты, содержащие токсикианты, относящиеся ко всем классам опасности. Минимизировать воздействие свалок можно при экологически обоснованном выборе площадок новых и мониторинге существующих полигонов. Необходим пространственно-временной мониторинг подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов, существующих и законсервированных свалок, которые продолжают загрязнять окружающую среду.

Ключевые слова: полигоны твердых коммунальных отходов, подземные воды, загрязнение, фильтрат, миграция загрязняющих веществ.

DOI: 10.31857/S0321059621030159

ВВЕДЕНИЕ

Обращение с отходами – одна из приоритетных проблем для многих стран мира. Полиэлементные очаги скопления свалочных масс требуют срочной разработки и внедрения современных технологий защиты окружающей среды, в частности подземных вод от физического, химического и биологического воздействия. При исследовании свалок применяются различные научно-методические подходы (рекогносцировка, дешифрирование, бурение скважин, районирование, ГИС-технологии, геофизические и химико-аналитические методы, миграционное моделирование и др.). При этом остаются слабо разработанными принципы мониторинга, включая взаимосвязанные системы наблюдений, оценок и прогноза антропогенных изменений в подземной гидросфере.

Несмотря на строительство мусоросжигательных и мусороперерабатывающих заводов, значительные объемы отходов все еще сохраняются в окружающей среде и создают повышенные риски ухудшения качества подземных вод.

Хотя существуют определенные принципы размещения свалок (природные, социально-экономические, экологические и др.), многие из них

не выполняются. Время их воздействия на подземные воды исчисляется десятилетиями за счет длительного разложения накопленных отходов. На многих свалках не выполняются систематические химико-аналитические наблюдения за динамикой качества подземных вод. Практически отсутствует режимная сеть наблюдательных скважин.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работы включали в себя исследования полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО), выбор мест их расположения, влияния на окружающую среду.

Для анализа мирового опыта по выбору площадок захоронения твердых отходов в поисковых системах был дан запрос вида “Solid Waste Landfill Site Selection”. Практически все работы (например, [18, 20]) представлены авторами из развивающихся стран и посвящены именно проблемам размещения полигонов. К одной из немногих публикаций европейских авторов по данной тематике относится статья итальянских ученых, изучавших влияние свалки на заповедник, расположенный на одном из Галапагосских островов [22]. Работы авторов из развитых стран посвящены вопросам сбора и переработки отходов.

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания ИВП РАН (тема 0147-2019-0001, регистрация АААА-А18-118022090056-0).

Таблица 1. Параметры свалок

Показатель	Степень воздействия на окружающую среду
Положение	Наземное, подземное
Масштабы распространения	Площади (конфигурация и геометрические размеры)
Время воздействия	Длительное (десятки лет)
Категория риска	Высокая
Класс воздействия	Химический, физико-химический, биологический, механический, физический, санитарно-токсикологический, радиоактивный
Обратимость воздействия	Необратимое

Свалки бытовых и промышленных отходов относятся к наиболее опасным сосредоточенным источникам загрязнения окружающей среды, а именно – атмосферного воздуха, растительного и почвенного покрова, поверхностных и подземных вод. На сегодняшний день в центральной России основной способ утилизации отходов различного происхождения – их складирование на специальных полигонах.

Очень хороший (технический и общественно-политический) анализ проблемы в России дан в статье [12].

Существующие технологии переработки коммунальных отходов не справляются со своей задачей. Для вновь создаваемых и существующих свалок отчуждаются все более значительные площади, стихийно возникают несанкционированные свалки.

Только в последние десятилетия при выборе площадок полигонов стали учитывать геологогидрогеологические условия прилегающих территорий и использовать новые технологии для минимизации загрязнения окружающей среды (инжекции, применение сорбционных барьеров и др.) [15, 16]. На ряде свалок используют отводные дренажные устройства с дальнейшей откачкой фильтратов. Иногда откачивающие скважины оборудуют непосредственно в теле свалки. Часто применяют рециркуляцию фильтрата. Для

минимизации воздействия свалки на окружающую среду используют биогазовые установки отвода метана [14].

Существующие свалки имеют различную площадь (от 0.5 до 300 га) и объемы. Мощность свалочных масс может достигать значительных величин и варьирует от 10 до 60 м. К геометрическим характеристикам относятся площадь свалки, ее конфигурация, объемы отходов, глубина выемок и высота насыпи.

Свалки содержат отходы различного генезиса (пищевые, бумага, картон, бытовой мусор, синтетические материалы). Свалки характеризуются видами отходов, методами складирования (слоистость свалочных масс, уплотнение, рекультивация и др.) и возрастом [1].

В табл. 1 приведены наиболее важные параметры свалочных масс. На рис. 1 представлены схемы миграции загрязняющих веществ от свалочных масс при различном расположении полигона в природной среде.

Можно выделить зоны влияния полигона ТКО на подземные воды по химическому составу инфильтрата: под свалочной массой, в зоне транзита и в зоне разгрузки в дренажную сеть. Для каждой из них характерны свои химические и температурные аномалии в подземной гидросфере, а также в режиме уровней.

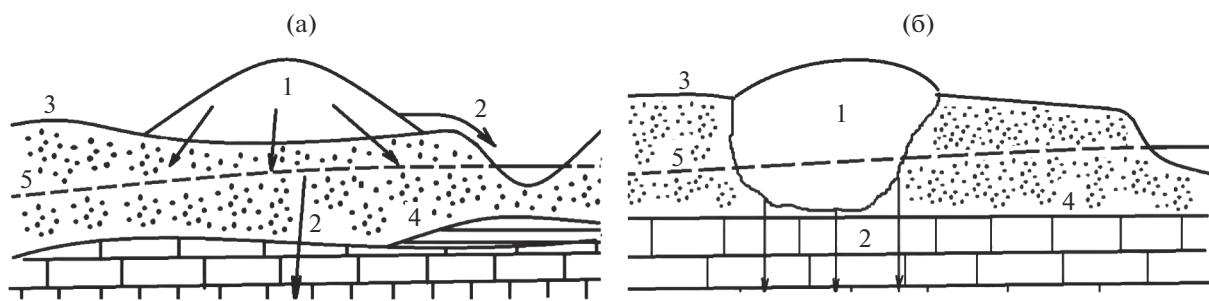


Рис. 1. Схема миграции фильтрата. 1 – свалочные массы, 2 – направление распространения фильтрата в поверхностные и подземные воды, 3 – поверхность земли, 4 – горные породы в основании свалки, 5 – УГВ; а – полигон на поверхности земли, б – полигон в бывшем карьере.

Таблица 2. Зоны трансформации свалочных масс

Зоны трансформации	Основные процессы трансформации
Аэробная	Переувлажнение, брожение, разложение
Переходная	Трансформация органического вещества Денитрификация
Анаэробная	Трансформация органического вещества Брожение Сульфатредукция Метаногенез

В каждой из этих зон формируются своеобразные щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия. В геосистеме меняются элементы водного баланса (испарение, эвапотранспирация, инфильтрационное питание и др.). Отмечается существенное загрязнение поверхностных и грунтовых вод. Угнетается растительный покров, ухудшается состояние атмосферного воздуха из-за выделения свалочных газов (метана CH_4 , углекислого газа CO_2).

Тело свалки представляет собой сложную многофазную техногенную систему, состоящую из конгломерата различных отходов, фильтрата и газовой составляющей [2].

В структуре тела свалочных масс выделяются различные зоны по мощности и характеру физико-химических и биологических процессов. Характер увлажнения и пористость отложений изменяются по площади и глубине, в верхней части свалки влажность варьирует в широких пределах (от 15 до 85%) и процессы разложения происходят при аэробных условиях [8, 9]. Для этой части отложений наблюдаются высокие концентрации углекислоты за счет разложения органических веществ [8].

Для свалок поверхностного типа (рис. 1а) характерно существенное загрязнение почвенного покрова, которое может распространяться на много километров вокруг свалки. Суммарный коэффициент загрязнения по 19 токсикантам $Z_c = 165$. Этот показатель остается достаточно высоким (до 45–61) на расстоянии 5–8 км от свалки.

Второй тип свалок – в выемке (рис. 1б) – также весьма опасен, так как это непосредственный источник загрязнения подземных вод.

Особенности фильтратов

При увлажнении тела свалки атмосферными осадками образуются значительные объемы фильтрата. В зависимости от возраста и площади полигона фильтрат может достигать значительных объемов (до 10^4 м^3). В аэробной зоне происходит обогащение фильтрата широким спектром токсикантов [8, 9]. В составе фильтратов обнару-

жен ряд загрязнителей (NH_4^+ , Pb , Zn , Cu , Cr^{3+} , Mo , Al , V , As , Hg , Mn , Fe , Ni , W и др.), представляющих все классы опасности по их токсичности. Минерализация фильтрата может достигать 80 г/дм³ [2], при этом концентрации макро- и микроэлементов в основном превышают ПДК.

В табл. 2 приведены зоны трансформации свалочных масс, мощность которых меняется по мере их накопления и уплотнения.

Характер увлажнения и пористость отложений в этих зонах меняются по площади и глубине. В верхней части свалки влажность меняется в широких пределах – от 15 до 85% и процессы разложения происходят при аэробных условиях за счет кислорода (рис. 2). Высокая температура (30–40°C) и значительная увлажненность свалочной массы (до 90–100%) приводят к высоким концентрациям CH_4 . Разложение органических веществ вызывает увеличение содержания CO_2 (рис. 2). За счет уплотнения толщи аэробные условия сменяются анаэробными. В переходной и анаэробной зонах отмечается, что CO_2 вытесняет O_2 (рис. 2).

Степень трансформации состава фильтрата на свалке зависит от ее возраста и площади. Трансформация в толще проходит в несколько стадий [9].

При уплотнении толщи отходов происходит уменьшение мощности аэробной и переходной зон и увеличение мощности анаэробной зоны. Ухудшение кислородного режима сопровождается изменением окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условий. Окислительно-восстановительный потенциал меняется в широком диапазоне (от 3 до 310 мВ). pH также варьирует в широких пределах (от 8.5 до 3.7). Анаэробные условия способствуют жизнедеятельности специфических микроорганизмов [8, 9].

В свалочной массе проходят физические, физико-химические, биологические, химико-биологические и другие процессы. За счет ионного обмена, гидролиза, комплексообразования, сорбции образуются сложные по составу фильтраты [2, 8]. С увеличением площади свалки происходит рост минерализации фильтрата в 7–10 раз.

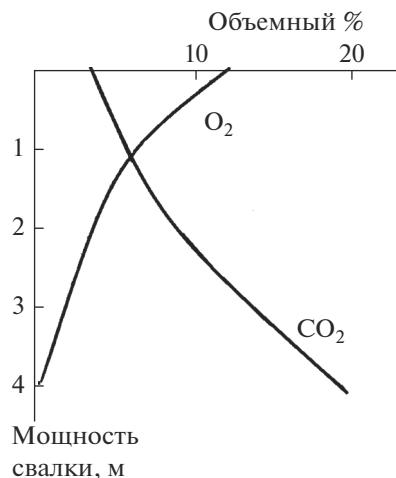


Рис. 2. Характер изменения содержания O_2 и CO_2 с глубиной.

Разложение органических веществ приводит к образованию летучих соединений и уменьшению pH [2, 8]. Метагенные бактерии способствуют резкому увеличению содержания CH_4 и CO_2 . При разложении органических веществ в отложениях свалки температура возрастает до 40–50°C, что вызывает образование и эмиссию CO_2 и CH_4 , а также азота и водорода.

В старых свалках наблюдается уменьшение концентраций CH_4 и CO_2 , а также содержания летучих кислот и ХПК [2], за счет чего происходит изменение концентраций макроэлементов (Cl^- , Ca^2+ , SO_4^{2-} , Na^+ и др.). Сульфаты и нитраты восстанавливаются до сульфидов и аммония. Химическое потребление O_2 в фильтрате составляет 6–7 тыс. мг/дм³, что указывает на значительное содержание органических веществ [2, 8].

При гидролизе белков, углеводов и жиров (кислотогенез) образуются летучие кислоты [8]. На стадии ацетогенеза происходит наиболее динамичное уменьшение концентраций тяжелых металлов: Zn , Cu , Pb , Ni и др. – за счет комплексообразования.

На стадии метаногенеза образуются высокомолекулярные соединения и наблюдается уменьшение концентраций многих загрязнителей [5, 8].

Для свалки площадью >100 га содержание органических веществ >300 мг/дм³, а для свалки меньшей площади (55 га) – 71 мг/дм³ (при возрасте свалок ~25 лет) [2, 8]. Математическим моделированием установлено, что трансформация состава фильтрата занимает значительный период времени (>100 лет), и влияние фильтрата на окружающую среду может продолжаться еще десятилетия [9].

Наибольшее воздействие свалок на подземные воды происходит в первые 4–7 лет после их образования.

Наиболее значительные превышения концентраций химических элементов в фильтрате характерны для Cl^- , SO_4^{2-} , Fe , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , NH_4 , NO_3^- . Превышения ПДК характерны для химического потребления O_2 (ХПК) и биологического потребления O_2 (БПК₅). Гидрохимический тип вод фильтрата зависит от времени года. В осенний период фильтрат соответствует типу $Cl-NH_4$, в мае – $Cl-Ca$ [8]. В осенний период pH фильтрата ≤ 6.6. Влияние инфильтрации атмосферных осадков проявляется в увеличении pH фильтрата до 8.7.

Для микроэлементов (Cd , Ni , Mn , Pb , Zn , Cu , Cr^{3+} , Ba , Hg , As) также наблюдается превышение ПДК. Кроме перечисленных загрязнителей, в фильтрате отмечалось присутствие большого количества взвешенных веществ, нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ [2].

Результаты наблюдений на полигоне Дубна-1

Свалка бытовых и промышленных отходов “Дубна-1” расположена в междуречье рек Волги, Дубны и Сестры, приурочена к Нижне-Волжской равнине и функционирует с 1960-х гг.

Грунтовые воды залегают в песчано-глинистых отложениях четвертичного возраста на небольших глубинах (0.5–2 м) [7].

Исследование фильтрата выполнялось в двух дренажных канавах свалки “Дубна-1”. Сформированная толща представлена отходами различного генезиса [7]. Полигон представляет собой насыпь, окруженную двумя дренажными канавами для отвода фильтрата. Разовые определения химического состава дренажных вод вдоль свалки выполнялись с 1997 г. в период летней межени. Геохимический мониторинг дренажных и грунтовых вод выполнялся с 2005 по 2014 г.

Содержание макро- и микроэлементов в дренажных водах свалки менялось по сезонам года. Концентрация Cl -ионов в дренажных водах варьировалась от 47 до 194 мг/дм³ и не превышала ПДК = 300 мг/дм³ [9]. В грунтовых водах содержание Cl -иона менялось от 27 до 95 мг/дм³ (на 2014 г.). Максимальные концентрации отмечались в период летней межени.

Влияние полигона проявилось в изменении гидрохимического типа грунтовых вод, от типа HCO_3-Na до SO_4-Na и $Cl-Na$. Величины pH снижались с 7.2 до 4.2.

Слабая защищенность грунтовых вод приводила к постоянному ухудшению их качества за счет увеличения концентраций ряда макрокомпонентов (SO_4 , Cl^- , Na и др.).

По результатам наблюдений установлена значительная вариабельность щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий в дренажной и грунтовых водах.

В двух колодцах, расположенных рядом с полигоном, минерализация грунтовых вод $>1.5 \text{ г/дм}^3$. При этом концентрации микроэлементов в составе грунтовых вод $\leq \text{ПДК}$. В дренажных водах концентрации Zn, Cu, Pb, Ni и Cd были во много раз выше, чем на расстоянии 2 км от свалки.

Определение концентраций некоторых загрязнителей в дренажном стоке свалки и в грунтовых водах установило следующее соотношение содержаний токсикантов: для дренажных вод — Zn > Cu > Pb > Ni > Cd, для грунтовых вод — Zn > Pb > Cu > Ni > Cd.

Влияние свалок на загрязнение подземных вод

Влияние свалочных отходов на загрязнение подземных вод зависит от сочетания природных и техногенных факторов. Ведущие природные факторы — метеоусловия и геолого-гидрогеологические особенности (глубина залегания подземных вод, состав водовмещающих пород, их фильтрационные свойства, наличие водоупора, карстовые явления и др.). Перечисленные факторы определяют степень защищенности подземных вод и особенности пространственно-временного их загрязнения.

По результатам наблюдений за изменением качества подземных вод под влиянием полигонов установлено, что максимальное воздействие свалок на подземные воды приходится на первые 4–7 лет после появления свалочных масс. Установлено превышение концентраций по всем макро- и микрокомпонентам в подземных водах и на других полигонах (Щербинка, Саларьево, Тимохово и др.) [4, 17].

Грунтовые воды — наименее защищенные от проникновения сверху загрязняющих веществ в водоносные горизонты [7, 9]. Покровные отложения представлены песчано-глинистыми породами. В геологических разрезах часто отсутствуют экранирующие глины. Уязвимость грунтовых вод для загрязнений обусловлена небольшой мощностью зоны аэрации (2–10 м).

Оценка времени достижения фильтратом УГВ дала величину 200–260 сут после образования свалки [5]. В расчетах учитывались различные параметры геосистемы (мощность зоны аэрации и степень ее увлажнения, фильтрационные свойства водовмещающих пород, величина инфильтрационного питания, пористость).

Отмечалась высокая минерализация грунтовых вод (3.5 ПДК). Превышали ПДК значения ХПК и БПК₅. Химико-аналитические определения установили присутствие в грунтовых водах

Таблица 3. Динамика загрязнения грунтовых вод (глубина 13 м)

Год	pH	NH ₄ , мг/дм ³	Cl ⁻ , мг/дм ³	ХПК, мг O ₂ /дм ³	NO ³⁻ , мг/дм ³
1995	7	0.15	733	387	0.8
2008	4.2	24.6	17389	4600	14.3

поверхностно-активных и взвешенных веществ, включая нефтепродукты (28.3 ПДК) и устойчивый гидрохимический Cl—Na-тип вод.

В табл. 3 дана динамика изменения некоторых ингредиентов в составе грунтовых вод за период наблюдений (1995–2008 гг.)

Из представленных данных видно, что свалка приводит к изменению щелочно-кислотных условий и к образованию вод хлоридного типа.

Накопление CO₂ в анаэробной зоне также меняет углекислотный режим в водоносном горизонте, что выражается в динамичном снижении pH (табл. 3).

Воздействие свалок приводит также к росту электропроводности грунтовых вод. Так, в Польше для небольшой свалки площадью 3 га, образованной в 1994 г., до сих пор сохраняется высокая минерализация грунтовых вод (до 5 г/дм³), а электропроводность составляет $\sim 7 \times 10^3 \mu\text{S}/\text{см}$ [21]. Даже при небольшой площади свалки (1–3 га) ее влияние проявляется в повышении концентрации азотных соединений в родниковом стоке.

Выделенные трансформации привели к нарушению физико-химического равновесия в водоносной системе. В табл. 4 приведены результаты термодинамических расчетов на основе химико-аналитических данных подземных вод в зоне воздействия фильтрата.

Из приведенных данных следует несколько выводов. Несмотря на положительные значения S-кальцита и S-доломита в фильтрате, в песчано-рыхлых отложениях четвертичного возраста (al_Y) наблюдается значительная агрессивность грунтовых вод при их загрязнении и изменении щелочно-кислотных условий (табл. 4).

Увеличение концентраций загрязнителей SO₄²⁻, CO₂ и других приводит к проявлению всех видов агрессивности подземных вод (общекислотная, углекислотная, сульфатная и др.) при превышении их порогообразующих значений. Изменение pH, увеличение содержания CO₂ при расположении свалок на карбонатных породах могут привести к усилению процессов выщелачивания в подземных водах.

При загрязнении подземных вод токсикантами (Ni, Mn, Zn, Cu, Cr³⁺, Hg и др.) образуется зна-

Таблица 4. Результаты термодинамического моделирования воздействия фильтрата на подземные воды в четвертичных отложениях и в известняках (по свалке в Щербинке)

Горизонт	Показатели				
	pH	CO ₂ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	S-кальцит	S-доломит
Фильтрат техногенный	6.6	1	420	0.25	1.55
Четвертичные отложения до загрязнения фильтратом	7.2	20	26	-0.57	-0.28
Четвертичные отложения после загрязнения фильтратом	4.8	45	52	-4.4	-5.93
Средний карбон до загрязнения фильтратом	7.7	8	7	-2.2	1.07
Средний карбон после загрязнения фильтратом	6.3	20	156	-1.85	0.21

чительное количество миграционных форм за счет процессов комплексообразования.

Эксплуатируемые водоносные горизонты

Некоторые полигоны расположены на закарстованных территориях или непосредственно контактируют с водоносными горизонтами, представленными карбонатными трещиноватыми породами (рис. 1). Анализ химического состава (2010 г.) подольско-мячковского (C₂mc-pd) водоносного горизонта установил значительное воздействие свалки в Щербинке на качество эксплуатируемых вод.

Гидрохимический тип подземных вод соответствует Cl—Ca—Na-типу. Уменьшение концентраций гидрокарбонатов происходит за счет увеличения концентраций Cl.

Наиболее значительные превышения ПДК в подземных водах характерны для Cl⁻, Fe, Na⁺, Mg²⁺, Ca⁺, K⁺. При этом концентрации Na⁺ и Cl⁻ постоянно растут. Незначительные превышения концентраций относительно ПДК отмечаются для SO₄²⁻, NH₄, NO³⁻ и для некоторых микроэлементов (Cd, Ba, Pb). Кроме перечисленных микроэлементов, в подземных водах присутствовали также Ni, Mn, Zn, Cu, Cr³⁺, Hg.

Наибольшая трансформация химического состава подземных вод наблюдается в зоне транзита потока (вниз по потоку).

Комплексный мониторинг воздействия свалок на подземные воды

Для изучения влияния свалок на подземные воды требуется комплексное применение различных типов мониторинга (гидрогеологический, ингредиентный, геэкологический, санитарно-токсикологический, муниципальный, микробиологический, гидродинамический, гидрогеохимический, температурный и др.) [10].

Все перечисленные типы мониторинга актуальны для изучения степени трансформации

свойств и состава подземных вод при воздействии свалочных отходов. Общие задачи перечисленных разновидностей мониторинга состоят в выявлении признаков и масштабов загрязнения подземных вод в пространстве и времени [6, 17].

Все описанное выше – только констатация вреда, нанесенного природной среде из-за стихийного выбора расположения полигонов ТКО. Для минимизации воздействия полигонов на окружающую среду необходимо районирование территорий с точки зрения их защищенности от проникновения загрязнений в грунтовые воды. Этим требованиям в значительной мере удовлетворяют участки с наличием непроницаемых глинистых экранов. Примеры неудачного выбора мест для полигонов ТКО и схема районирования Московского региона приведены в [4, 5, 17, 19].

ВЫВОДЫ

Обобщены результаты наблюдений влияния полигонов коммунальных отходов Московского региона на качество подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов.

С помощью термодинамического моделирования оценено влияние фильтрата на безнапорные и эксплуатируемые водоносные горизонты.

Накопление бытовых отходов приводит к不可逆的 изменениям физических, химических и биологических свойств подземных вод. В водозаборные скважины проникают токсиканты всех классов опасности. Неблагоприятные последствия выражаются в накоплении экологического и экономического ущерба окружающей среде. Минимизировать такие последствия могут экологически обоснованный выбор площадок новых [19] и мониторинг существующих [6] полигонов, а также пространственно-временной мониторинг качества и трансформации подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов. Даже законсервированные свалки продолжают загрязнять окружающую среду, поэтому необходим и их мониторинг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилин В.А., Локшина Л.Я. Свалки как возбудимая среда // Природа. 2003. № 5. С. 53–60.
2. Галицкая И.В., Путилина В.С., Юганова Т.И. Поведение органического вещества в фильтрате в подстилающих породах свалки. Влияние на миграцию тяжелых металлов // Геоэкология. 2007. № 6. С. 43–49.
3. Грибанова Л.П., Афонин А.П. Геоэкологические исследования на Саларьевском полигоне твердых бытовых и промышленных отходов // Экология и пром-сть России. 1997. Июнь. С. 8–10.
4. Джамалов Р.Г., Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Геохимическая оценка загрязнения подземных вод свалками твердых коммунальных отходов (ТКО) // Материалы конф. “Сергеевские чтения”. М., 2020. Вып. 22. С. 104–109.
5. Джамалов Р.Г., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Влияние полигона твердых бытовых отходов на качество подземных и поверхностных вод (на примере Владимирской области) // Материалы конф. “Сергеевские чтения”. М., 2018. Вып. 20. С. 175–178.
6. Злобина В.Л. Разновидности мониторинга при изучении воздействия свалок на подземные воды // Матер. конф. “Сергеевские чтения”. М., 2018. Вып. 20. С. 182–186.
7. Злобина В.Л., Медовар Ю.А. Применение ГИС при оценке качества подземных вод // Материалы конф. “Сергеевские чтения”. М.: РУДН, 2009. Вып. 11. С. 30–32.
8. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Источники загрязнения подземных вод в зоне активного водообмена // East Eur. Sci. J. 2018. V. 2 (30). P. 4–16.
9. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Негативное воздействие хозяйственной деятельности на подземные воды // East Eur. Sci. J. 2019. № 4 (44). P. 28–40.
10. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. М.: Мир науки, 2017. 191 с.
11. Маркелов Д.А. Оценка опасности очагового расположения свалок на основе цифрового моделирования // Геоэкологические проблемы современности. Владимир, 2010. С. 371–373.
12. Мишанина Т., Никитина О., Федорова М. Грязь большого города. Коммерсант. 24.07.2019. [Электронный ресурс]. https://www.kommersant.ru/doc/3449313?from=doc_vrez (дата обращения: 21.12.2020)
13. Обращение с отходами: задачи геоэкологии и инженерной геологии // Материалы конф. “Сергеевские чтения”. М.: РУДН, 2018. Вып. 20. 420 с.
14. Опасные природные и техногенные экзогенные процессы: закономерности развития, мониторинг и инженерная защита территорий // Матер. конф. “Сергеевские чтения”. М.: ГЕОС, 2007. Вып. 9. 444 с.
15. Сметанин В.С. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. М.: Колос, 2003. 230 с.
16. Трушин Б.В. Формирование загрязнения подземных вод на участках коммунальных свалок Московского региона. Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1994. 21 с.
17. Хмельченко Е.Г., Казакова И.Г., Богомолов Ю.Г., Савельев А.Ф., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. О влиянии полигона твердых коммунальных отходов на качество подземных вод в Московской и Владимирской областях // Муниципальная акад. 2018. № 3. С. 55–62.
18. Babalola A., Busu I. Selection of Landfill Sites for Solid Waste Treatment in Damaturu Town-Using GIS Techniques // J. Environ. Protection. 2011. V. 2. P. 1–10.
19. Dzhamalov R.G., Medovar Y.A., Yushmanov I.O. Principles of MSW landfill sites' placement depending on geological and hydrogeological conditions of territories (based on Moscow region) // Water Resour. 2019. V. 46. № S2. P. 51–58.
20. Javaheri H., Nasrabadi T., Jafarian M.H., Rowshan G.R., Khoshnam H. Site selection of municipal solid waste landfills using analytical hierarchy process method in a geographical information technology environment in Giroft // Iran. J. Environ. Sci. Eng. 2006. V. 3. № 3. P. 177–184.
21. Lagerkvist A. Landfill Technology. Technical Rep. 2003:15. Luleå, Sweden: Luleå Univ. Technol., 2003. 254 p.
22. Ragazzi R., Catellani E.C., Rada V. et al. Management of Municipal Solid Waste in One of the Galapagos Islands // Sustainability. 2014. V. 6 (12). P. 9080–9095.