

УДК 502.55

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2016

Применение методологии анализа риска для прогнозирования воздействия на окружающую среду объектов накопленного экологического ущерба

Т. Н. Швецова-Шиловская,
А. А. Афанасьева,
Т. В. Громова,
А. В. Кошелев,
Д. И. Назаренко,
А. Ю. Орлов,
ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии» (ФГУП «ГосНИИОХТ»), г. Москва

Аннотация

В результате нерациональной хозяйственной деятельности в настоящее время на территории Российской Федерации сформировалось большое количество объектов накопленного экологического ущерба. По различным оценкам общая площадь загрязненных территорий составляет десятки тысяч гектаров. Сконцентрированные на загрязненных территориях токсичные химические вещества являются постоянным источником антропогенного воздействия на компоненты природной среды (почву, поверхностные и грунтовые воды, атмосферный воздух), что может приводить к значительному ухудшению экологической ситуации.

Для оценки опасности данных объектов для окружающей среды предлагается использовать методологию анализа риска.

На основании предлагаемой методологии выполнен прогноз неблагоприятного воздействия загрязненной территории бывшего химического производства (ФГУП «Производственное объединение Красноярский химический комбинат «Енисей») на окружающую среду и здоровье населения.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, математическое моделирование, методология анализа риска, накопленный экологический ущерб, токсичные химические вещества.

Содержание

Введение

1. Методические подходы к оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами
2. Прогнозирование воздействия на окружающую среду и здоровье населения объекта накопленного экологического ущерба

Заключение

Литература

Введение

В настоящее время большую экологическую проблему в Российской Федерации представляет значительное количество территорий, загрязненных в процессе хозяйственной деятельности человека. Это территории бывших химических производств, заброшенные полигоны хранения промышленных и бытовых отходов, склады пришедших в негодность ядохимикатов и т. п., являющиеся объектами накопленного экологического ущерба [1].

В рамках научно-исследовательской работы был организован сбор информации по объектам накопленного экологического ущерба, расположенным в различных регионах Российской Федерации. Всего было рассмотрено 176 объектов, из которых 38% составляют промышленные предприятия, прекратившие хозяйственную деятельность (рис. 1).

Данные мониторинга окружающей природной среды в районах расположения объектов накопленного ущерба свидетельствуют о том, что почвенный слой на таких территориях в значительной степени загрязнен токсичными химическими веществами (ТХВ).

Загрязненные территории являются потенциальным источником негативного воздействия на окружающую природную среду и здоровье населения. Сконцентрированные на территориях таких объектов токсичные химические вещества способны с течением времени выщелачиваться в грунтовые воды, попадать в атмосферный воздух в результате ветровой эрозии и распространяться на значительные расстояния, что может привести к дальнейшему ухудшению экологической ситуации [2—3].

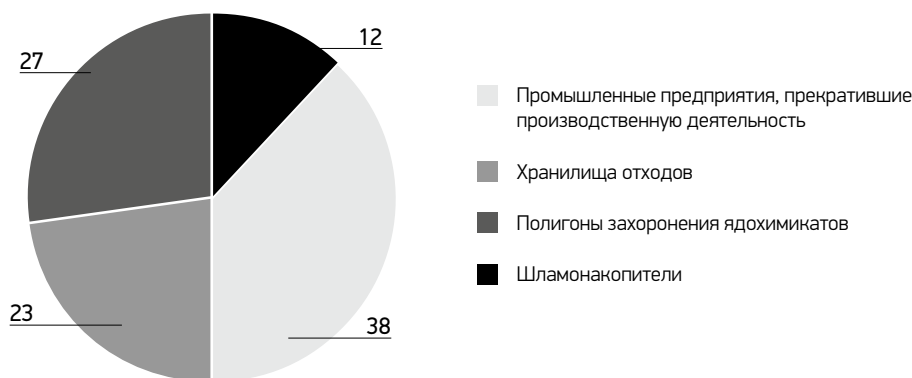


Рис. 1. Объекты накопленного экологического ущерба, расположенные на территории Российской Федерации, %

1. Методические подходы к оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами

В настоящее время существует ряд нормативных документов, в которых предлагаются подходы для оценки степени опасности почв, загрязненных ТХВ. Данные подходы основаны на сравнении фактической концентрации токсичного вещества с фоновыми значениями и определении коэффициентов концентрации ТХВ и показателя суммарного загрязнения почвы [4—6].

Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c) характеризует степень химического загрязнения почв и грунтов обследуемых территорий вредными веществами. Z_c предлагается использовать в качестве индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения [6].

Суммарный показатель загрязнения равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов — загрязнителей и выражается формулой [6]:

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \quad (1)$$

где n — число определяемых веществ; K_{ci} — коэффициент концентрации i -го вещества.

Коэффициент концентрации химического вещества (K_c) определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) к региональному фоновому ($C_{\phi i}$) [6]:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{\phi i}}. \quad (2)$$

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения (Z_c) [6]

Таблица 1

Категории загрязнения почв	Величина Z_c	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16—32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32—128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение числа токсикозов беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

Для оценки воздействия загрязненных почв на здоровье населения предлагается использовать шкалу опасности загрязнения почв, представленную в табл. 1.

С помощью подхода, предложенного в [6], можно оценить воздействие ТХВ на население, проживающее в очаге загрязнения или в непосредственной близости от него. Однако, как показывает опыт, почвенные загрязнители способны распространяться на значительные расстояния вместе с подвижными средами (грунтовыми водами, атмосферным воздухом) и оказывать негативное воздействие на здоровье населения, проживающего в десятках и сотнях километров от очага загрязнения.

Более точно оценить воздействие ТХВ, источником которых являются загрязненные территории, на окружающую среду и здоровье населения можно с помощью методологии анализа риска, которая включает математическое моделирование распространения токсичных химических веществ в окружающей среде.

Моделирование распространения токсичных химических веществ в окружающей среде — это процесс количественного определения концентраций химических соединений в окружающей среде путем теоретических вычислений с использованием математических моделей различной сложности. Располагая значениями концентраций веществ в разных природных средах, можно оценить воздействие токсичных химических веществ на окружающую среду и здоровье населения.

Для получения надежных результатов математического моделирования очень важно как можно точнее идентифицировать ТХВ, определить значения концентраций в почве, оценить площадь и глущину загрязнения [7].

При определении концентраций тяжелых металлов в пробах почвы необходимо оценить не только валовое содержание металлов, но и содержание их подвижных форм, для того чтобы охарактеризовать миграцию тяжелых металлов из почвы.

2. Прогнозирование воздействия на окружающую среду и здоровье населения объекта накопленного экологического ущерба

Одной из территорий, загрязненных в результате нерациональной хозяйственной деятельности человека, является территория бывшего химического производства ФГУП «Производственное объединение Красноярский химический комбинат «Енисей» (ФГУП «ПО КХК «Енисей»).

На данной территории были проведены инженерно-экологические изыскания, выполнены отбор и лабораторные исследования проб грунта.

Результаты, полученные в ходе выполнения работ по комплексному обследованию территории ФГУП «ПО КХК «Енисей», свидетельствуют о том, что в почве на территории предприятия присутствуют бенз(а)пирен, тяжелые металлы и мышьяк в концентрациях, превышающих гигиенические нормативы.

Оценить воздействие данных ТХВ на здоровье населения в соответствии с подходом, предлагаемым в нормативных документах [4—6], не представляется возможным, поскольку очаг загрязнения (территория ФГУП «ПО КХК «Енисей») расположен на значительном расстоянии от мест проживания людей.

В связи с этим для веществ, сконцентрированных на данной территории, было проведено моделирование распространения в окружающей среде, для того чтобы оценить их возможное неблагоприятное воздействие на здоровье населения.

Распространенным подходом к моделированию распространения почвенных загрязнителей в окружающей природной среде является использование камерных моделей, основанных на концепции фугитивности [8—9], например динамической многосредней модели, предложенной в [10].

Данная математическая модель разработана для прогнозирования распространения ТХВ от полигонов захоронения токсичных отходов. Она позволяет оценить распределение токсичных химических веществ в компонентах природной среды (атмосферном воздухе, почве, поверхностных и грунтовых водах). Преимущество использования многосредней модели состоит в том, что она дает полную картину распространения химического вещества в окружающей среде и ее можно использовать для прогнозирования распространения различных типов веществ [11]. Данная модель рекомендована к использованию Агентством по окружающей среде США (EPA) [10] и Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) [9].

В соответствии с динамической многосредней моделью [10] природная среда разбивается на отдельные камеры. В качестве камер рассматриваются ограниченные части атмосферы, почвы, поверхностных вод и т. д. Математическая модель для описания распространения ТХВ имеет вид [10]:

$$\begin{aligned} \frac{dN_i(t)}{dt} = & -R_i N_i(t) - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m T_{ij} N_i(t) + \\ & + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m T_{ji} N_j(t) + S_i(t) - T_{io} N_i(t), \\ N_i(0) = & N_i^0, \end{aligned} \quad (3)$$

где N_i^0 — количество вещества в i -й камере в начальный момент времени, моль;

$N_i(t)$ — изменяющееся во времени количество вещества в i -й камере, моль;

R_i — константа скорости деградаци химического вещества по реакции первого порядка в i -й камере, 1/сут;

T_{ij} — константа скорости переноса вещества из i -й камеры в j -ю камеру, 1/сут;

T_{ji} — константа скорости переноса вещества из j -й камеры в i -ю камеру, 1/сут;

T_{io} — константа скорости переноса вещества из i -й камеры в точку вне рассматриваемой области, 1/сут;

$S_i(t)$ — функция источника для химического вещества в i -й камере, моль/сут;

m — общее число камер.

С помощью данной математической модели и на основе информации по содержанию ТХВ в грунте на территории ФГУП «ПО КХК «Енисей» были спрогнозированы средние значения концентраций ТХВ в атмосферном воздухе и грунтовых водах.

Проведенные расчеты показали, что прогнозные значения концентраций ТХВ в атмосферном воздухе незначительны и намного меньше предельно допустимых концентраций.

Прогнозные значения средних концентраций ТХВ в грунтовых водах, которые могут быть достигнуты через 10 лет в случае постоянного негативного воздействия источника загрязнения, показаны в табл. 2. Также представлено сравнение полученных концентраций ТХВ с предельно допустимыми концентрациями веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКв).

Долгосрочный прогноз распространения ТХВ с территории ФГУП «ПО КХК «Енисей» показывает, что в случае непринятия мер по изоляции источников загрязнения в течение 10 лет средние концентрации бенз(а)пирена, мышьяка и тяжелых металлов в грунтовой воде могут значительно превысить допустимые нормы.

На рис. 2 представлена динамика изменения концентрации ТХВ в грунтовых водах с течением времени.

Как видно из рис. 2, постоянное негативное воздействие источника загрязнения приведет в накоплению бенз(а)пирена, мышьяка и тяжелых металлов в грунтовых водах в концентрациях, пре-

Прогнозируемые значения средних концентраций токсичных химических веществ в грунтовых водах

Таблица 2

№	Вещество	Средняя концентрация, мг/л	ПДК _в , мг/л	Кратность превышения ПДК _в
1	Бенз(а)пирен	$3,19 \times 10^{-4}$	1×10^{-5}	32,0
2	Свинец	0,28	0,01	28,0
3	Мышьяк	$3,6 \times 10^{-2}$	0,01	3,6
4	Цинк	2,8	1,00	2,8
5	Медь	0,36	1,0	0,36

вышающих гигиенические нормативы предельно допустимых концентраций. Бенз(а)пирен, свинец и мышьяк относятся к канцерогенным веществам.

Была проведена оценка риска возникновения заболеваний у населения, возможных в результате потребления воды, содержащей ТХВ.

Расчет значений канцерогенных и неканцерогенных рисков осуществлялся с помощью разработанного информационно-аналитического комплекса и на основе методики оценки риска для здоровья населения, рекомендованной к применению Глав-

ным государственным санитарным врачом Российской Федерации [11, 12].

Оценка канцерогенного риска (CR) проводилась по следующему выражению [12]:

$$CR = LADD \times SF, \quad (4)$$

где $LADD$ — среднесуточная доза вещества в течение жизни, мг/(кг×сут);

SF — фактор канцерогенного потенциала, (мг/кг×сут)⁻¹.

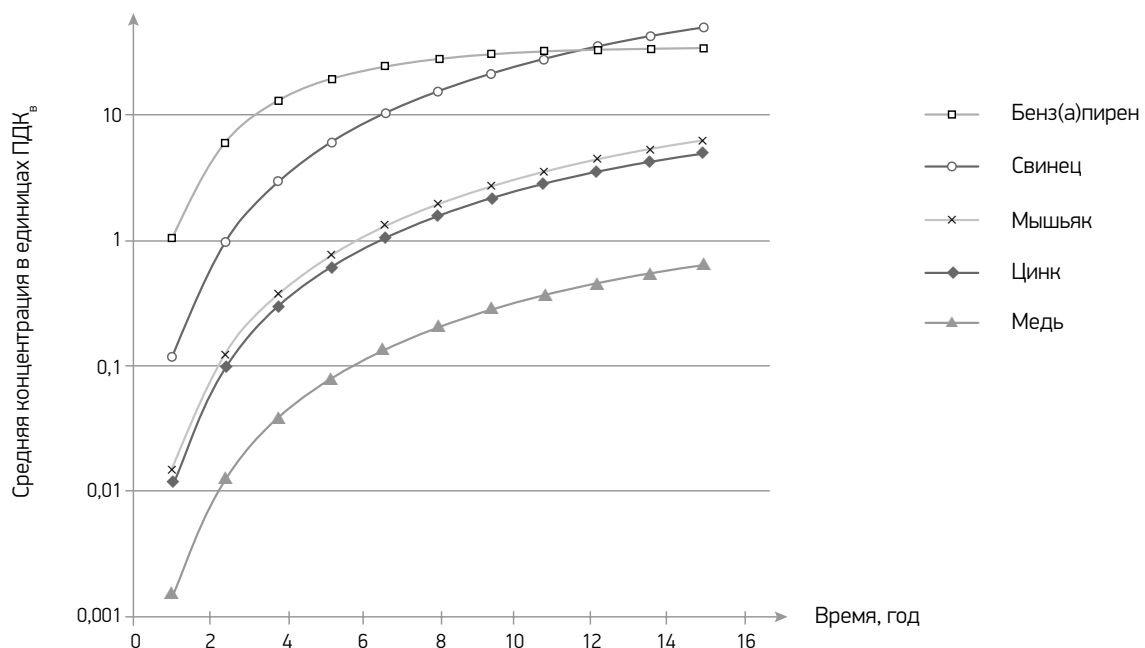


Рис. 2. Зависимость прогнозируемой средней концентрации токсичных химических веществ (в единицах ПДК_в) в грунтовых водах от времени

Значения неканцерогенных и канцерогенных рисков

Таблица 3

№	Вещество	Неканцерогенный риск	Канцерогенный риск
1	Бенз(а)пирен	0,16	$2,57 \times 10E^{-5}$
2	Свинец	2,19	$1,55 \times 10^{-4}$
3	Мышьяк	3,65	$7,05 \times 10^{-4}$
4	Цинк	0,26	—
5	Медь	0,52	—

Величина приемлемого канцерогенного риска, принятая в различных странах, находится в диапазоне 10^{-4} — 10^{-6} [11].

Неканцерогенный риск характеризуется величиной коэффициента опасности HQ, который оценивается следующим образом [12]:

$$HQ = \frac{AD}{RfD}, \quad (5)$$

где HQ — коэффициент опасности; AD — среднесуточная доза вещества за период воздействия, мг/кг×сут; RfD — референтная (безопасная) доза, мг/кг×сут.

Для неканцерогенных рисков приемлемым уровнем считается значение, равное или меньшее 1,0 [12].

В табл. 3 представлены значения канцерогенных и неканцерогенных рисков для здоровья населения при воздействии ТХВ, источником которых является территория бывшего химического производства.

Как видно из табл. 3, канцерогенные риски от воздействия ТХВ находятся на приемлемом уровне.

Значения неканцерогенных рисков для здоровья населения при воздействии мышьяка и свинца намного превышают допустимые значения. Данные ТХВ способны оказывать воздействие на нервную, сердечно-сосудистую и кровеносную системы организма, желудочно-кишечный тракт. Свинец обладает гонадотропным, эмбриотоксическим и тератогенным действием.

Проведенные исследования показали, что ТХВ с территории предприятия способны вымываться из почвы в результате воздействия атмосферных

осадков, таяния снегов и пр., загрязнять грунтовые воды и вызывать возникновение неблагоприятных эффектов для здоровья у населения, проживающего в радиусе до 10 км от источника загрязнения.

Заключение

Существующие нормативно-методические документы не позволяют в полной мере оценить опасность, исходящую от территорий бывших химических производств, загрязненных токсичными химическими веществами.

Для оценки неблагоприятного воздействия таких территорий на окружающую среду и здоровье населения предлагается использовать методологию анализа риска, которая позволяет учесть возможность попадания ТХВ из почвы в смежные природные среды (атмосферный воздух, грунтовые воды), прогнозировать распространение ТХВ в этих средах и оценивать риск возникновения заболеваний у населения, контактирующего с загрязненными ТХВ природными средами в процессе жизнедеятельности.

Литература

1. Методические рекомендации по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба, утв. приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 25 апреля 2012 г. № 193.
2. Комплексное моделирование и прогнозирование распространения загрязняющих веществ в зоне влияния ОАО «Средне-Волжский завод химикатов» / В.Б. Кондратьев, М.В. Корольков, Д.И. Назаренко, А.А. Афанасьева, Т.Н. Швецова-Шиловская, С.В. Юрманова // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 1. С. 32—36.

3. Методические подходы к ранжированию опасных химических объектов для определения перечня приоритетных мер по снижению химической опасности / Т.Н. Швецова-Шиловская, О.В. Полехина, Е.Н. Глухан, А.А. Афанасьева, М.В. Корольков, А.Ю. Орлов, В.А. Потапкин // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 9. С. 14—20.
4. СанПиН 4266-87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР, 1987.
5. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 16 с.
6. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: Методические указания.
7. ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005). Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы.
8. Mackay D. Paterson and Shiu W.Y. Generic Models for Evaluating the Regional Fate of Chemicals. Chemosphere. 1992. V. 24, № 6. P. 695—717.
9. Программа ООН по окружающей среде. Подпрограмма по химическим веществам. Женева: Глобальный экологический фонд, 2002. 155 с.
10. Caltox A. Multimedia Total-Exposure Model for Hazardous-Waste Sites. Part II: The Dynamic Multimedia Transport and Transformation Model. Sacramento: Environmental Protection Agency, 1993. 98 p.
11. Онищенко Г.Г., Новиков С.М. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. 408 с.
12. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

Сведения об авторах

Швецова-Шиловская Татьяна Николаевна: доктор технических наук, профессор, начальник отделения ФГУП «ГосНИИ органической химии и технологии»

Количество публикаций: более 50, в том числе 7 книг

Область научных интересов: кинетика сложных химических реакций и планирование эксперимента, математическое моделирование распространения токсичных химических веществ в окружающей среде; методология оценки аварийного риска на опасных химических объектах

Контактная информация:

Адрес: 111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23

Тел.: +7 (495) 673-75-55

E-mail: dir@gosniokht.ru

Афанасьева Александра Алексеевна: кандидат технических наук, начальник отдела ФГУП «ГосНИИ органической химии и технологии»

Количество публикаций: 11 статей

Область научных интересов: математическое моделирование распространения токсичных химических веществ в окружающей среде, методология анализа риска для здоровья

Контактная информация:

Адрес: 111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23

Тел.: +7 (495) 673-78-24

E-mail: dir@gosniokht.ru, alex.afanaseva@mail.ru

Громова Татьяна Владимировна: доктор технических наук, начальник отдела ФГУП «ГосНИИ органической химии и технологии»

Количество публикаций: 21 статья

Область научных интересов: теория надежности сложных химико-технологических систем, создание информационно-аналитических систем управления промышленной безопасностью

Контактная информация:

Адрес: 111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23

Тел.: +7 (495) 673-50-10

E-mail: dir@gosniokht.ru

Кошелев Алексей Васильевич: кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «ГосНИИ органической химии и технологии»

Количество публикаций: 45 статей

Область научных интересов: химическая технология и экология

Контактная информация:

Адрес: 111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23

Тел.: +7 (495) 673-75-30

E-mail: dir@gosniokht.ru

Назаренко Денис Игоревич: кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГУП «ГосНИИ органической химии и технологии»

Количество публикаций: 12 статей

Область научных интересов: математическое моделирование распространения токсичных химических веществ в окружающей среде, методология анализа аварийного риска

Контактная информация:

Адрес: 111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23

Тел.: +7 (495) 673-78-24

E-mail: dir@gosniokht.ru

Орлов Александр Юрьевич: начальник отдела ФГУП «ГосНИИ органической химии и технологии»

Количество публикаций: более 5

Область научных интересов: создание прогнозно-аналитических систем, математических моделей и методик управления риском

Контактная информация:

Адрес: 111024, г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 23

Тел.: +7 (495) 673-78-24

E-mail: dir@gosniokht.ru