

УДК 614.4
DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.05

Читать
онлайн



Научная статья

ОЦЕНКА И РАНЖИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ПО КРИТЕРИЯМ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ: ОПЫТ ПЕРМСКОГО КРАЯ

**В.Г. Костарев^{1,3,4}, Д.М. Шляпников^{2,4}, А.В. Бражкин^{2,3},
Т.Г. Паздерина², И.В. Май³, Е.В. Максимова³**

¹Управление федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Пермскому краю, Российская Федерация, 614016, г. Пермь, ул. Куйбышева, 50

²Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае, Российская Федерация, 614016, г. Пермь, ул. Куйбышева, 50

³Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Российская Федерация, 614000, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

⁴Пермский государственный медицинский университет им. Е.А. Вагнера, Российская Федерация, 614000, г. Пермь, ул. Петропавловская, 26

Повсеместно объекты накопленного вреда окружающей среде (ОНВОС) привели к загрязнению территории и рискам дополнительной заболеваемости населения. Необходимость определения очередности ликвидации таких объектов является первоочередной задачей в рамках федерального проекта «Генеральная уборка».

Осуществлены оценка и ранжирование объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан для определения очередности ликвидации объектов.

Оценка рисков здоровью под воздействием объектов накопленного вреда окружающей среде проводилась силами Центра гигиены и эпидемиологии в Пермском крае по утвержденной методике Роспотребнадзора, построенной на теории нечетких множеств. Принимались во внимание параметры от 40 до 50 показателей по каждому объекту с учетом типа и специфики ОНВОС. Рассмотрены 29 объектов, расположенных в Пермском крае. По каждому объекту изучены фондовые материалы, проведены дополнительные лабораторные исследования качества объектов среды обитания (атмосферного воздуха, почв, природных и питьевых вод) общим объемом более 1100 измерений.

По результатам комплексной оценки четыре объекта были отнесены к категории «объект высокого риска» ($R = 0,75 \pm 0,62$), 16 объектов были оценены как объекты среднего риска ($R = 0,51 \pm 0,41$), девять объектов характеризовались умеренным риском ($R = 0,39 \pm 0,25$). Среди объектов высокого риска три – это места складирования отходов промышленных предприятий горно-металлургического и химического профиля; один – несанкционированная свалка. Объекты высокого риска характеризовались значительными объемами накопленных отходов прошлой экономической деятельности, длительным периодом существования и неконтролируемого воздействия на среду обитания, расположением в границах населенных пунктов, где регистрировали превышения гигиенических нормативов качества среды обитания по показателям, маркерным для ОНВОС.

Объекты среднего и умеренного риска располагались в небольших населенных пунктах или за пределами их, в жилой застройке не выявлены превышения гигиенических нормативов качества среды обитания.

Данные о рисках здоровью и приоритетах для финансирования и реализации мероприятий по ликвидации объектов накопленного вреда переданы в федеральную службу Росприроднадзора и органы исполнительной власти Пермского края.

Ключевые слова: объекты накопленного вреда окружающей среде, федеральный проект «Генеральная уборка», критерии риска здоровью населения, категорирование, ранжирование.

© Костарев В.Г., Шляпников Д.М., Бражкин А.В., Паздерина Т.Г., Май И.В., Максимова Е.В., 2025

Костарев Виталий Геннадьевич – кандидат медицинских наук, главный государственный санитарный врач по Пермскому краю, руководитель (e-mail: ugpn@59.rospotrebnadzor.ru; тел.: 8 (342) 239-35-63, 239-34-35; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5135-8385>).

Шляпников Дмитрий Михайлович – кандидат медицинских наук, главный врач (e-mail: sgero@mail.ru; тел.: 8 (342) 239-34-09).

Бражкин Анатолий Васильевич – специалист лаборатории социально-гигиенического мониторинга (e-mail: brazhkin.anatol@yandex.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04).

Паздерина Татьяна Германовна – заведующий отделом коммунальной гигиены (e-mail: sgero@mail.ru; тел.: 8 (342) 239-34-09).

Май Ирина Владиславовна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник – советник директора (e-mail: may@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>).

Максимова Екатерина Вадимовна – младший научный сотрудник отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: maksimova@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-9955>).

Существуя в течение долгого времени, отходы прошлой экономической деятельности являются неконтролируемым источником загрязнения природных объектов и природно-техногенной среды обитания человека. Длительное и неконтролируемое загрязнение почвы, воздуха, природных водных объектов, в том числе источников питьевого водоснабжения, не может не сказываться на состоянии здоровья населения [1–5].

Проблема идентификации, оценки и ликвидации объектов накопленного вреда является общей для многих развитых стран и решается не одно десятилетие. Германия, Дания, Нидерланды и другие страны с 90-х гг. прошлого столетия начали активно реализовывать меры по выявлению объектов накопленного экологического ущерба и их ликвидации [6–11]. Основными принципами, которым следуют государства, накопившие опыт устранения накопленного экологического ущерба, являются: исследование территории на предмет наличия опасных веществ; оценка величины вреда или угрозы вреда; установление причинно-следственных связей между выявленным вредом и хозяйственной деятельностью предприятия¹. Если владелец или бывший владелец объекта накопленного вреда известен, его понуждают к принятию мер по ликвидации ущерба за свой счет. В случае, если владелец объекта неизвестен, ликвидация загрязнения лежит на региональных или федеральных властях.

Повсеместно приоритет рекультивации загрязненных территорий отдается наиболее опасным объектам, влияющим на состояние окружающей среды и здоровье населения [10–12]. С целью актуализации проблемы, а также для демонстрации усилий государства по обеспечению безопасности граждан законодательство ряда стран предполагает создание и ведение сайтов и реестров загрязненных объектов [11, 12].

По мнению ряда экспертов Всемирного банка, острота и масштаб проблем накопленного экологического вреда в России сопоставимы с аналогичны-

ми проблемами в США², где с 1980 г. действует «Закон о принятии всеобъемлющих мер по охране окружающей среды, выплате компенсаций и ответственности» (закон о Суперфонде)³. Этот закон дополнен «Актом о комплексном реагировании, компенсации и ответственности за ущерб окружающей среде»⁴. Документ описывает правила и процедуру оценки объектов накопленного вреда, позволяет оценить причиненный вред и выявить наиболее загрязненные места на территории страны.

В Российской Федерации понятия «объект накопленного вреда» и «накопленный вред окружающей среде» введены в правовое поле федеральным законом от 3 июля 2016 г. № 254-ФЗ⁵. В документе под объектами накопленного вреда окружающей среде (ОНВОС) понимаются «... территории, акватории, объекты капитального строительства и объекты размещения отходов, на которых выявлен вред окружающей среде, возникший в результате прошлой экономической и иной деятельности, обязанности по устранению которого не были выполнены либо были выполнены не в полном объеме».

Порядок инвентаризации, учета и ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде закреплён в Федеральном законе от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»⁶. Для решения многолетней проблемы ликвидации опасных объектов на территории страны реализуется федеральный проект «Генеральная уборка», предполагающий детальное исследование каждого объекта, оценку воздействия на природные объекты, жизнь и здоровье населения⁷. Включение показателей влияния ОНВОС не только на природную среду, но и на жизнь и здоровье населения обосновано многочисленными исследованиями и доказательными материалами [1, 5, 13, 14]. По итогам обследования и оценки объектов накопленного вреда предполагается поэтапная ликвидация ОНВОС с учетом ранжирования объектов и выделенных приоритетов.

¹ Об экологической ответственности, направленной на предотвращение экологического ущерба и устранение его последствий: Директива Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2004/35/EC от 21 апреля 2004 г. [Электронный ресурс] // ГАРАНТ: информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/2570148/> (дата обращения: 04.02.2025); Environmental Liability Directive Guidelines. – Denmark: The Environmental Protection Agency and the Agency for Spatial and Environmental Planning, 2012; Guidelines for Part 17.2 of the Dutch Environmental Management Act: measures in the event of environmental damage or its imminent threat. – The Netherlands, 2008.

² Прошлый экологический ущерб в Российской Федерации [Электронный ресурс] // Всемирный банк, Департамент устойчивого развития, регион Европы и Центральной Азии. – Май 2007 г. – С. 39. – URL: <http://expert.gost.ru/EC/DOC/PECU.pdf> (дата обращения: 04.02.2025).

³ Superfund: CERCLA Overview [Электронный ресурс] // US EPA. – URL: <https://www.epa.gov/superfund/superfund-cercla-overview> (дата обращения: 04.02.2025).

⁴ The Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA) [Электронный ресурс] // US EPA. – URL: <https://www.epa.gov/superfund/superfund-amendments-and-reauthorization-act-sara> (дата обращения: 04.02.2025).

⁵ О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 254-ФЗ [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200513/ (дата обращения: 06.02.2025).

⁶ Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 06.02.2025).

⁷ Генеральная уборка [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/gencleaning/> (дата обращения: 06.02.2025).

Результаты оценки риска здоровью человека рассматриваются наряду с экологическими критериями, что позволяет учесть все аспекты негативных последствий существования объекта накопленного вреда и принять обоснованное решение в части приоритизации финансирования и реализации мер по ликвидации объектов.

На текущий момент в государственный Реестр объектов накопленного вреда окружающей среде включено более 3,5 тысячи объектов разного вида, происхождения и длительности существования. Ряд объектов расположен на территории Пермского края. Это бывшие производственные площадки, ныне – заброшенные места добычи полезных ископаемых, бесхозные площадки складирования жидких и твердых отходов, неиспользуемые и частично разрушенные здания и сооружения, свалки хозяйственно-бытовых отходов, выведенные из эксплуатации⁸.

Цель исследования – оценка риска воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан на территории Пермского края для определения последующей очередности ликвидации объектов.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись 29 объектов накопленного вреда окружающей среде Пермского края: 18 отработанных участков угольного месторождения, два загрязненных нефтепродуктами земельных участка, четыре свалки твердых коммунальных и / или производственных отходов, три короотвала, один шлаковый отвал, один шламонакопитель промышленного происхождения.

Все ОНВОС региона были разделены на следующие типы объектов, предусмотренные отечественным законодательством: а) объекты размещения твердых отходов; б) жидких химических отходов; в) загрязненные территории.

Оценка воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан проводилась в соответствии с «Методикой осуществления оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан», утвержденной приказом Роспотребнадзора от 27.11.2023 № 851⁹.

Заложенный в методику инструментарий основан на теории нечетких множеств и позволяет рассматривать любую совокупность числовых и логических переменных [15]. Каждый тип объекта оценивался по комплексу показателей, характерному для данного типа объекта (не менее 40 показателей для каждого типа объектов). Принимали во внимание показатели, которые напрямую или опосредованно могли формировать качество среды обитания

населения и, соответственно, влиять на здоровье человека (наличие опасных веществ в составе отходов, обеспеченность ОНВОС защитными барьерами, близость к источникам хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание опасных примесей, характерных для ОНВОС, в воздухе, воде, почвах жилой зоны и т.п.).

Для оценки степени влияния каждого показателя на здоровье использовались шкалы, градуирующие уровень опасности каждого показателя (от «низкой» до «очень высокой» степени). Показатели объединялись в группы, для каждой из которых был установлен весовой коэффициент с учетом типа объекта накопленного вреда (v_j): общая характеристика объекта ($v_j = 0,10 \div 0,15$); климатические параметры ($v_j = 0,10$); пространственные характеристики ($v_j = 0,30 \div 0,40$); геологические и гидрологические параметры территории ($v_j = 0,15 \div 0,35$); показатели качества среды обитания ($v_j = 0,10 \div 0,40$).

Совокупный риск для здоровья по всем группам показателей (R) рассчитывали по формуле:

$$R = \sum_j R_j v_j, \quad (1)$$

где R_j – величина риска здоровью от j -й группы показателей; v_j – весовой вклад j -й группы показателей в совокупный риск.

Калькулированный риск относили к одному из диапазонов шкалы, соответствующая балльная оценка которого используется в общей оценке объекта и последующем ранжировании ОНВОС (табл. 1).

Первоначальным этапом оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан на территории Пермского края являлось изучение фондовых материалов (проектные документы, результаты оценки ОНВОС, выполненные Росприроднадзором, и др.). На основе исходных данных были составлены и реализованы программы дополнительных лабораторных измерений компонентов среды обитания в зоне влияния ОНВОС и / или ближайшей жилой застройки.

Точки инструментальных измерений располагались на внешних границах объектов накопленного вреда и в близлежащих жилых зонах. Исследования выполнялись аккредитованным испытательным лабораторным центром ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Пермском крае» с использованием аттестованных методов измерений.

В каждой точке инструментальных исследований проведено более 100 лабораторных измерений химических, микробиологических, радиологических факторов для учета всех аспектов воздействия объектов накопленного вреда на жизнь и здоровье граждан.

⁸ О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2023 году: Государственный доклад. – Пермь: Министерство природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края, 2023. – 112 с.

⁹ Методика осуществления оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на жизнь и здоровье граждан. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 57 с.

Таблица 1

Диапазоны шкалы категорий риска здоровью и балльная оценка риска

Показатель шкалы	Категория риска здоровью				
	низкий	умеренный	средний	высокий	очень высокий
Диапазон	(0; 0,25]	(0,15; 0,45]	(0,35; 0,65]	(0,55; 0,85]	(0,75; 1,0]
Среднее значение по диапазону	0,125	0,300	0,500	0,700	0,875
Балльная оценка ¹⁰	0	1	2	2,3	3

После камеральной обработки данных заполнялись программные модули, реализующие математический аппарат утвержденной методики. Для каждого объекта накопленного вреда выполнялся расчет риска и его критериальная оценка.

Результаты и их обсуждение. Полученные результаты показали, что практически все объекты накопленного вреда не являются безопасными для среды обитания населения и формируют потенциальную угрозу жизни и здоровью людей. Так, из 29 обследованных объектов 19 расположено непосредственно в границах поселений региона: от небольших поселков городского типа (отработанные участки угольных месторождений) до краевого центра (свалка твердых коммунальных отходов). При этом некоторые из мест накопленного вреда являются источниками загрязнения очень длительное время – до нескольких десятков лет. Так, изливы кислых шахтных вод загрязняют почву и водные объекты на прилегающих территориях в течение 24–60 лет. Более 20 лет короотвалы ликвидированных объектов целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности являются источниками попадания химических веществ в природные водные объекты путем миграции примесей в грунтовые и ливневые воды, атмосферный воздух, почвы. При этом только один объект (шламонакопитель бывшего химического предприятия) из 29 обследованных имеет защитный барьер (обваловку) для частичного предотвращения и / или замедления скорости распространения вредных веществ в окружающую среду.

Массы накопленных отходов прошлой экономической деятельности существенно разнятся: от 2 до 812 тысяч т и от 4 до 68 тысяч м³. И практически все ОНВОС содержат в своем составе какие-либо вещества, обладающие канцерогенными, мутагенными, эмбриотоксичными или репротоксичными свойствами.

Крайне опасным с точки зрения потенциального влияния на здоровье людей является расположение объектов накопленного вреда вблизи водных объектов и / или земель сельскохозяйственного назначения. Так, 10 объектов (34 % от всех обследованных) расположено в непосредственной близости от водного зеркала – на расстоянии менее 50 м от урезом рек или

прудов, в том числе используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения или рекреационных целей. Один их объектов расположен в 5 м от воды и в зоне второго пояса питьевого водозабора города с населением около 60 тысяч человек.

Ситуация усугубляется небольшой глубиной залегания грунтовых вод: по тем объектам, где имелись фоновые данные о подстилающих породах, грунтовые воды залегали на глубине не более чем 2 м под основанием объекта. Это формирует угрозу фильтрации загрязнения в верхний водоносный горизонт и распространение по территории.

Более половины всех объектов в зоне влияния имеют сельскохозяйственные угодья. Это создает угрозу миграции ряда химических веществ, в том числе подвижных форм металлов, в растительную продукцию, которая используется как сырье для продуктов питания людей или кормов для животных.

Опасности и угрозы, которые были идентифицированы при обработке фоновых материалов по обследованным объектам, получили свое подтверждение в результате инструментальных измерений качества среды обитания.

Определено, что основным фактором риска для здоровья в зоне влияния ОНВОС является, прежде всего, химическое загрязнение окружающей среды. Особенно такое загрязнение характерно для объектов промышленного происхождения. В качестве примера в табл. 2 приведены результаты инструментальных исследований химического состава почв в зоне влияния шлакоотвала бывшего металлургического завода (28 пробных площадок и две фоновые площадки). Объект расположен в 5 м от уреза водохранилища (пруд на р. Лысьве). Ближайшая жилая застройка расположена в 215 м от шлакового отвала. В 125 м от границы объекта расположен коллективный сад.

Как видно из представленных данных, почвы в зоне влияния объекта интенсивно загрязнены соединениями металлов, в том числе подвижными их формами, нефтепродуктами, анионоактивными поверхностно-активными веществами (АПАВ). Идентифицированные примеси небезопасны с точки зрения потенциального негативного влияния на здоровье человека. Соединения свинца, кадмия, никеля,

¹⁰ О ведении государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде: Постановление Правительства РФ от 23.12.2023 № 2268 (с изменениями на 14 марта 2024 года) [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304418172> (дата обращения: 04.02.2025).

Таблица 2

Химические вещества в городской почве в зоне влияния шлакового отвала бывшего металлургического завода и потенциальные негативные эффекты для здоровья

Показатель	Значение показателя, мг/кг			Потенциальный негативный эффект для здоровья
	среднее	максимальное	допустимое (фон)	
Нефтепродукты	741 ± 223	1480	140 ± 42	Вероятны канцерогенные эффекты, воздействие на органы дыхания, нервную систему
Анионоактивные ПАВ	3,69 ± 1,23	6,0	2,70 ± 0,90	Поражение нервной системы
Алюминий	7731 ± 2275	18766	5093 ± 1732	Поражение нервной системы, печени
Ртуть	0,92 ± 0,48	3,02	0,09 ± 0,05	Влияние на нервную систему, развитие, почки
Медь	577 ± 143	1838	51 ± 16	Поражение сердечно-сосудистой системы, нервной системы, органов дыхания
Цинк	1399 ± 350	4408	142 ± 36	Воздействие на иммунную систему и кровь
Марганец	2922 ± 584	5042	994 ± 199	Воздействие на нервную систему
Свинец	484 ± 121	1091	59 ± 18	Канцероген. Негативное влияние на нервную систему, кровь, развитие, эндокринную систему и пр.
Никель	162 ± 41	330	34 ± 9	Канцероген. Системное поражение
Кадмий	7,68 ± 2,62	21	3,8 ± 1,3	Канцероген. Негативное воздействие на почки
Кобальт	3,32 ± 1,37	14	2,9 ± 0,9	Канцероген. Влияние на эндокринную систему
Мышьяк	1,15 ± 0,58	1,74	0,30 ± 0,15	Канцероген. Негативное влияние на развитие, сердечно-сосудистую систему, нервную систему и пр.

мышьяка – доказанные канцерогены. При этом выявленные концентрации данных примесей в почвах поселения в отдельных пробахкратно превышают фоновые значения: свинец – до 18,5; никель – до 9,7; мышьяк – до 5,8; кобальт – до 4,8 раза. Соединения ртути – опасного токсиканта – зафиксированы в концентрациях, превышающих фоновые уровни до 33,6 раза.

Загрязнение почв вблизи водоема имеет следствием загрязнение водного объекта. Так, в воде пруда в черте города выявлены нарушения гигиенических нормативов по свинцу, ртути, нефтепродуктам и другим примесям, характерным для состава ОНВОС (с кратностью до 2 ПДК).

В атмосферном воздухе в зоне влияния ОНВОС не зарегистрировано превышений гигиенических нормативов, однако в значимых концентрациях идентифицированы соединения никеля, бенз(а)пирена, хрома, кобальта, никеля, свинца, цинка, что позволяет предполагать многосредовое воздействие тяжелых металлов на жителей прилегающих территорий.

В зоне влияния свалки твердых коммунальных отходов на территории г. Перми также отмечено высокое загрязнение почвы тяжелыми металлами (табл. 3).

Загрязнение почв в зоне влияния объекта связано с отсутствием геолого-технических сооружений (нет обваловок, гидроизоляционных экранов). Таким образом, наблюдается превышение концентраций непосредственно в зоне влияния объекта относительно фоновой концентрации по содержанию ртути в 32,5 раза, меди – в 8,32 раза, свинца – в 4,75 раза, нефтепродуктов – в 3,33 раза, никеля – до 2,45 раза, цинка – до 1,29 раза.

Высокая химическая опасность ОНВОС промышленного происхождения подтверждена и данными объектов среды обитания в зоне влияния накопителя твердых промышленных отходов (табл. 4).

Расположенные в зонах влияния различных ОНВОС водные объекты региона загрязнены целым комплексом общераспространенных и специфических веществ в концентрациях, существенно превышающих гигиенические нормативы: магний – до 190 ПДК, гидроксibenзол – до 160 ПДК, марганец – до 20,0 ПДК, бенз(а)пирен – до 19,8 ПДК, ртуть – до 19,8 ПДК, свинец – до 14,9 ПДК, хлориды – до 2,73 ПДК, железо – до 8,33 ПДК, аммиак – до 11,50 ПДК, кадмий – до 4,80 ПДК, натрий – до 2,93 ПДК, сульфаты – до 2,70 ПДК, хром – до 2,16 ПДК, формальдегид – до 1,12 ПДК.

В зонах влияния объектов, где накоплены коммунальные или промышленно-коммунальные отходы и / или легкоразлагаемые органические отходы, выявлены факты нарушения гигиенических требований к микробиологическому состоянию среды обитания. Так, в зонах расположения свалок ТКО в черте поселений или в непосредственной близости к ним в почвах зафиксировано повышенное содержание общих колиформных бактерий – до 100 и более КОЕ/г (при допустимом уровне 1–9 КОЕ/г); энтерококки (фекальные) – до 100 КОЕ/г (при допустимом уровне 1–9 КОЕ/г). В воде водных объектов рекреационного назначения, прилегающих к таким ОНВОС, выявлены *Escherichia coli* (*E.coli*) на уровне 130 КОЕ/100 см³ (при допустимом уровне не более 100 КОЕ/100 см³), энтерококки – до 240 КОЕ/100 см³ (при допустимом уровне не более 10 КОЕ/100 см³).

В целом комплекс работ с фоновыми материалами и результаты инструментальных обследований позволили оценить и проранжировать 29 объектов накопленного вреда по потенциальному риску причинения вреда здоровью населения региона (табл. 5).

Таблица 3

Показатели качества объектов среды обитания в почве зоны влияния несанкционированной свалки

Показатель	Ед. изм.	Значение показателя		
		среднее	максимальное	допустимое (ПДК / норма / фон)
Нефтепродукты	мг/кг	143 ± 35,8	200	60,0 ± 24,0
Медь	мг/кг	205 ± 51,3	308	37,0 ± 11,0
Ртуть	мг/кг	0,036 ± 0,009	0,13	0,004 ± 0,001
Цинк	мг/кг	50,3 ± 12,6	62	48,0 ± 14,0
Свинец	мг/кг	31,8 ± 8,0	48	10,1 ± 3,0
Никель	мг/кг	24,5 ± 6,1	49	20,0 ± 5,0

Таблица 4

Показатели качества объектов среды обитания в зоне влияния накопителя отходов в зоне влияния бывшего химического завода

Показатель	Ед. изм.	Значение показателя		
		среднее	максимальное	допустимое (ПДК/норма/фон)
Почва в зоне влияния в черте города в зоне влияния объекта накопленного вреда				
Нефтепродукты	мг/кг	1017 ± 308	8040	86,7 ± 30,7
Нитриты	мг/кг	0,271 ± 0,11	0,52	0,193 ± 0,08
АПAB	мг/кг	108,92 ± 29,99	547	4,95 ± 1,50
Медь	мг/кг	353 ± 68,5	893	2,23 ± 0,433
Хром	мг/кг	3,132 ± 0,782	6,6	1,563 ± 0,393
Ванадий	мг/кг	70,0 ± 21,1	118	34,3 ± 12,67
Сульфаты	мг/кг	620,9 ± 155,2	2193	14,6 ± 3,65
Вода поверхностного водного источника в черте города (500 м ниже по течению ОНВОС) и точке максимального предполагаемого влияния				
Нефтепродукты	мг/дм³	0,16 ± 0,040	0,27	0,05 ± 0,01
Нитрит-ион	мг/дм³	0,202 ± 0,04	0,230	0,08 ± 0,02
Медь	мг/дм³	0,052 ± 0,013	0,080	0,010 ± 0,002
Хром	мг/дм³	0,037 ± 0,010	0,072	0,020 ± 0,005
Ванадий	мг/дм³	0,003 ± 0,001	0,015	0,001 ± 0,0003
Сульфаты	мг/дм³	861 ± 172	1479	100 ± 25

Таблица 5

Результаты оценки и ранжирования объектов накопленного вреда окружающей среде в Пермском крае по риску причинения вреда здоровью населения

№ п/п	Наименование объекта накопленного вреда	Величина риска R	Характеристика риска
1	Шлаковый отвал бывшего металлургического завода	0,75	Высокий
2	Накопитель производственных и бытовых отходов	0,65	Высокий
3	Несанкционированная свалка на территории краевого центра	0,64	Высокий
4	Шламонакопитель бывшего химического завода	0,62	Высокий
5	Короотвал ликвидированного целлюлозно-бумажного комбината	0,57	Средний
6	Отработанный участок угольного месторождения (шурф шахты)	0,57	Средний
7	Свалка древесных отходов	0,53	Средний
8	Свалка хозяйственно-бытовых отходов, г. Кунгур Пермского края	0,52	Средний
9	Земли, загрязненные нефтепродуктами на территории закрытого территориального образования	0,52	Средний
10	Свалка твердых коммунальных отходов	0,52	Средний
11	Отработанный участок угольного месторождения (штольня шахты)	0,51	Средний
12	Отработанный участок угольного месторождения, шахта	0,50	Средний
13	Отработанный участок угольного месторождения, шахта	0,49	Средний
14	Земли, загрязненные нефтепродуктами, в закрытом территориальном образовании	0,49	Средний
15	Отработанный участок угольного месторождения (штольня)	0,49	Средний
16	Отработанный участок угольного месторождения (штольня)	0,49	Средний
17	Короотвал	0,48	Средний

Окончание табл. 5

№ п/п	Наименование объекта накопленного вреда	Величина риска R	Характеристика риска
18	Отработанный участок угольного месторождения (шурфы шахты)	0,46	Средний
19	Отработанный участок угольного месторождения (трубный ходок шахты)	0,45	Средний
20	Отработанный участок угольного месторождения (штольня)	0,41	Средний
21	Отработанный участок угольного месторождения (шурф)	0,39	Умеренный
22	Отработанный участок угольного месторождения (штольня)	0,37	Умеренный
23	Отработанный участок угольного месторождения (ствол шахты)	0,37	Умеренный
24	Отработанный участок угольного месторождения (штольня)	0,36	Умеренный
25	Отработанный участок угольного месторождения (скважина)	0,36	Умеренный
26	Отработанный участок угольного месторождения (штольня)	0,34	Умеренный
27	Отработанный участок угольного месторождения (скважина)	0,33	Умеренный
28	Отработанный участок угольного месторождения (шурф)	0,31	Умеренный
29	Отработанный участок угольного месторождения (скважина)	0,25	Умеренный

Таблица 6

Основные характеристики объектов высокого риска причинения вреда здоровью населения

Объект накопленного вреда окружающей среде	Шлаковый отвал бывшего металлургического завода	Накопитель производственных и бытовых отходов бывшего химического завода	Несанкционированная свалка	Шламонакопитель бывшего химического завода
Период существования, лет	4	12	27	12
Объем отходов, тыс. м ³	461,29	22,650	177,14	24,411
Площадь, га	34,18	5,78	11,6	1,33
Расположение в черте поселения	Да	Да	Да	Да
Расстояние до ближайшего водного объекта, м	5	5	680	18
Наличие в отходах веществ с канцерогенным, эмбриотоксичным, тератогенным и репротоксичным эффектом	Да	Да	Да	Да
Глубина залегания грунтовых, м	1,2	1,0	1,6	0,5
Наличие обваловок, ограждений, отводных каналов и пр.	Нет	Нет	Нет	Да
Население под воздействием, тыс. человек	60,3	151,3	1049,2	151,3

К объектам высокого риска для здоровья жителей отнесены четыре ОНВОС, расположенных в границах городских поселений (табл. 6). Объекты характеризуются значительными объемами накопленных отходов, длительными сроками существования в статусе «бесхозный объект», близостью водных объектов, используемых населением.

У трех объектов отсутствуют обваловки, ограждения и другие защитные сооружения, которые могли бы препятствовать попаданию опасных веществ в объекты среды обитания, а также не допускать проникновение населения на территории объектов. Соответственно, ОНВОС являются источниками пыления и испарения веществ с поверхности накопленной массы отходов, загрязнения поверхностных, грунтовых и поверхностных вод через фильтрацию загрязнений и смыв ливневыми или тальными водами, распространения химических и биологических агентов дикими животными и т.п.

В составе отходов у всех объектов присутствуют высокоопасные примеси, которые идентифицируются и на близлежащих селитебных территориях, в том

числе в концентрациях, превышающих гигиенические нормативы и создающих опасную экспозицию для людей, постоянно проживающих вблизи ОНВОС (см. табл. 2–4).

Данные объекты подлежат первоочередной ликвидации с последующей рекультивацией нарушенных и загрязненных земель и приведением участков в состояние, позволяющее их полноценное использование для муниципальных и региональных нужд.

Объекты среднего и / или умеренного риска для здоровья, расположенные в регионе, – это небольшие свалки, загрязненные нефтепродуктами территории и отработанные участки угольного месторождения, расположенные в небольших населенных пунктах или рядом с ними. Стоит отметить, что в зонах влияния многих объектов, отнесенных к среднему и умеренному риску, на территории жилой застройки не выявлены нарушения гигиенических требований нормативов. Вместе с тем целесообразность ликвидации данных объектов, рекультивация почв и восстановление качества природных объектов сохраняются. Это тем более важно, что большинство объектов

бывшего угольного бассейна расположено в районах Пермского края, которые обладают высоким туристическим потенциалом и активно посещаются жителями и гостями региона [16].

Полученные результаты полностью корреспондируются с данными аналогичных исследований, как в стране, так и за рубежом. Важность и целесообразность всестороннего многофакторного исследования среды обитания и здоровья населения в зоне влияния объектов накопленного вреда (именно такому принципу соответствовало настоящее исследование) подчеркивается в работах, посвященных системам принятия решений по ликвидации ОНВОС и последующему использованию рекультивированных участков [17–19]. Ряд работ подтверждают наиболее высокую опасность длительно существующих мест складирования отходов прошлой экономической деятельности предприятий химической, нефтехимической, нефтедобывающих, металлургической отраслей промышленности [20–22]. Микробное загрязнение, выявленное при обследовании бесхозных объектов складирования коммунальных или смешанных коммунальных и промышленных отходов в Пермском крае, подтверждается исследованиями, выполненными в отношении аналогичных объектов на других территориях [23, 24].

Следует отметить, что научное гигиеническое сообщество в целом подчеркивает актуальность максимально полного и оперативного устранения негативного влияния объектов накопленного экологического вреда, прежде всего с позиций минимизации рисков [25–27].

Выводы. Представляется, что оценка риска для здоровья как инструмент выделения приоритетов для задач ранжирования ОНВОС и определения очередности и срочности их ликвидации является обязательным элементом процесса оценки объектов накопленного вреда и существенно повышает объек-

тивность получаемых результатов с позиций обеспечения экологической и гигиенической безопасности населения.

Установлено, что из 29 рассмотренных и оцененных объектов накопленного вреда окружающей среде, расположенных в Пермском крае, четыре объекта (14 %) могут быть отнесены к категории «объект высокого риска». Данные объекты подлежат ликвидации в первоочередном порядке. Все они расположены в границах городов, в непосредственной близости к жилой застройке и водным объектам, используемым населением. Факторами риска является химическое загрязнение почв и водных объектов, в том числе веществами, вызывающими канцерогенные, мутагенные и репродуктивные эффекты, а также микробное загрязнение среды обитания.

Объектами среднего и умеренного риска являются небольшие свалки, земли, загрязненные нефтепродуктами, и угольные бассейны, расположенные в небольших поселениях или рядом с ними, при этом на территории жилой застройки данных поселений не выявлены превышения гигиенических требований. Объекты подлежат ликвидации в плановом порядке после устранения угроз опасностей, формируемых ОНВОС высокого риска, для здоровья граждан.

Представляется целесообразной организация специализированной медико-профилактической помощи населению, постоянно проживающему в зонах влияния объектов накопленного вреда с высоким риском причинения вреда здоровью граждан, в период до ликвидации опасных объектов и достижение нормативного состояния территории по гигиеническим критериям.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. The effect of residential proximity to brownfields, highways, and heavy traffic on serum metal levels in the Detroit Neighborhood Health Study / E.K. Lodge, N.S. Guseh, C.L. Martin, R.C. Fry, A.J. White, C.K. Ward-Caviness, S. Galea, A.E. Aiello // *Environ. Adv.* – 2022. – Vol. 9. – P. 100278. DOI: 10.1016/j.envadv.2022.100278
2. Оценка влияния шламонакопителя железосодержащих отходов на компоненты окружающей среды / Т.В. Извекова, Г.И. Гусев, Н.Е. Гордина, Р.Д. Ситанов, А.А. Гушин // *Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология»*. – 2024. – Т. 67, № 11. – С. 145–153. DOI: 10.6060/ivkkt.20246711.7140
3. Human biomonitoring as a tool for exposure assessment in industrially contaminated sites (ICSs). Lessons learned within the ICS and Health European Network / A. Colles, E.-R. Ardeleanu, C. Candeias, A. Ranzi, Z. Demeter, A. Hofer, M. Kowalska, K.C. Makris [et al.] // *Epidemiol. Prev.* – 2019. – Vol. 43, № 4. – P. 249–259. DOI: 10.19191/EP19.4.A03.070
4. Contaminated site-induced health risk using Monte Carlo simulation: evaluation from the brownfield in Beijing, China / P. Guo, H. Li, G. Zhang, W. Tian // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2021. – Vol. 28, № 20. – P. 25166–25178. DOI: 10.1007/s11356-021-12429-4
5. Potential human inhalation exposure to soil contaminants in urban gardens on brownfields sites: A breath of fresh air? / J.J. Weeks, G.M. Hettiarachchi, E. Santos, J. Tatarko // *J. Environ. Qual.* – 2021. – Vol. 50, № 3. – P. 782–790. DOI: 10.1002/jeq2.20208
6. Brownfield land and health: A systematic review of the literature / W. Wang, S. Dack, I. Mudway, H. Walder, B. Davies, R. Kamanyire, D. Fecht // *PLoS One.* – 2023. – Vol. 18, № 8. – P. 0289470. DOI: 10.1371/journal.pone.0289470
7. Zheng B., Masrabaye F. Sustainable brownfield redevelopment and planning: Bibliometric and visual analysis // *Heliyon.* – 2023. – Vol. 9, № 2. – P. e13280. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13280

8. Соловьянов А.А. Опыт Нидерландов, Бельгии и Канады в ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2018. – № 5. – С. 48–54. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-5-48-54
9. Соловьянов А.А. Опыт Великобритании, Германии и Дании в ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2018. – № 3. – С. 49–55. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-3-49-55
10. Кабацкая Л.Н. Зарубежный опыт правового регулирования ликвидации накопленного вреда окружающей среде // Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 114–128. DOI: 10.12737/jflcl.2020.005
11. Голденман Г. Опыт стран Европейского союза и стран Центральной и Восточной Европы в решении проблем прошлого экологического ущерба. Дискуссионный доклад для Всемирного банка [Электронный ресурс] // ИнЭКА-консалтинг. – 2006. – URL: <https://ineca.ru/?dr=projects&projects=social/pel/material&docname=opyt> (дата обращения: 09.02.2025).
12. An Overview of Brownfields Redevelopment in the United States Through Regulatory, Public Health, and Sustainability Lenses / L. Berman, C. Morar, S. Unkart, S. Erdal // J. Environ. Health. – 2022. – Vol. 84, № 9. – P. 8–14.
13. Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е. Здоровье граждан и продолжительность их жизни как критерий при оценке негативного воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на состояние окружающей среды и человека // Экология урбанизированных территорий. – 2021. – № 3. – С. 62–70. DOI: 10.24412/1816-1863-2021-3-62-70
14. Изменения биохимических показателей у детей, подвергающихся воздействию объектов накопленного вреда окружающей среде / М.А. Землянова, Н.В. Зайцева, Ю.В. Кольдибекова, О.В. Пустовалова // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 6. – С. 675–682. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-6-675-682
15. Методические подходы и некоторые результаты оценки объектов накопленного вреда окружающей среды по критериям риска для здоровья населения / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, А.С. Гуськов, Н.И. Колесникова, Е.В. Максимова // Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 523–531. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-523-531
16. Низаметдинов Р.Э., Аверин С.И. Проектирование, разработка и документирование информационной системы «Экологический туризм Пермского края» // Актуальные проблемы математики, механики и информатики: сборник статей по материалам студенческой конференции. – Пермь, 2024. – С. 146–150.
17. Hajeeh M., Al-Othman A. Application of the analytical hierarchy process in the selection of desalination plants // Desalination. – 2005. – Vol. 174, № 1. – P. 97–108. DOI: 10.1016/j.desal.2004.09.005
18. Swartjes F.A. Human health risk assessment related to contaminated land: state of the art // Environ. Geochem. Health. – 2015. – Vol. 37, № 4. – P. 651–673. DOI: 10.1007/s10653-015-9693-0
19. Human health risk assessment for contaminated sites: A retrospective review / S. Zhang, Y. Han, J. Peng, Y. Chen, L. Zhan, J. Li // Environ. Int. – 2023. – Vol. 171. – P. 107700. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107700
20. Natural radioactivity assessment around the petroleum-producing areas of The-Qar province, Iraq / K.F. Majeed, E. Salama, S.A. Elfiki, Y.M.Z. Al-Bakhat // Environ. Earth Sci. – 2021. – Vol. 80, № 2. – P. 64. DOI: 10.1007/s12665-020-09316-5
21. Liu S., Wang L., Guo C. Heavy metal pollution and ecological risk assessment in brownfield soil from Xi'an, China: An integrated analysis of man-land interrelations // PLoS One. – 2020. – Vol. 15, № 11. – P. e0241398. DOI: 10.1371/journal.pone.0241398
22. Дрегуло А.М. Распределение и удельная активность радионуклидов в почве объекта накопленного экологического вреда (на примере полигона осадков сточных вод) // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2018. – № 3. – С. 27–35.
23. Бабурина Т.А. Экологическая оценка негативного влияния сточных вод полигона ТБО (фильтрата) на окружающую среду // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 6 (7). – С. 177–178.
24. Municipal solid waste management and adverse health outcomes: A systematic review / G. Vinti, V. Bauza, T. Clasen, K. Medlicott, T. Tudor, C. Zurbrugg, M. Vaccari // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2021. – Vol. 18, № 8. – P. 4331. DOI: 10.3390/ijerph18084331
25. Клепиков О.В. Оценка риска для здоровья населения от объектов накопленного вреда окружающей среде – свалок твердых коммунальных отходов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 12 (138). DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.36
26. Assessment of the environmental impact of sanitary and unsanitary parts of a municipal solid waste landfill / S. Tenodi, D. Krčmar, J. Agbaba, K. Zrnić, M. Radenović, D. Ubavin, B. Dalmacija // J. Environ. Manage. – 2020. – Vol. 258. – P. 110019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.110019
27. Зайцева Н.В., Устинова О.Ю., Землянова М.А. Медико-профилактические технологии управления риском нарушений здоровья, ассоциированных с воздействием факторов среды обитания // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 2. – С. 109–113.

Оценка и ранжирование объектов накопленного вреда окружающей среде по критериям риска для здоровья населения: опыт Пермского края / В.Г. Костарев, Д.М. Шляпников, А.В. Бражкин, Т.Г. Паздерина, И.В. Май, Е.В. Максимова // Анализ риска здоровью. – 2025. – № 1. – С. 51–62. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.05



ASSESSING AND RANKING OF BROWNFIELDS PER HEALTH RISK CRITERIA: EXPERIENCE GAINED IN THE PERM REGION

**V.G. Kostarev^{1,3,4}, D.M. Shlyapnikov^{2,4}, A.V. Brazhkin^{2,3},
T.G. Pazderina², I.V. May³, E.V. Maksimova³**

¹Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing: Perm Regional Office, 50 Kuibysheva St., Perm, 614016, Russian Federation

²Center for Hygiene and Epidemiology in Perm Region, 50 Kuibysheva St., Perm, 614016, Russian Federation

³Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya St., Perm, 614000, Russian Federation

⁴Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, 26 Petropavlovskaya St., Perm, 614000, Russian Federation

Everywhere objects of accumulated environmental damage (brownfields) pollute surrounding areas and create elevated incidence rates among population. The necessity to establish an order for elimination of such objects is a primary task set within the General Cleaning Federal Project.

The aim of this study was to assess and rank regional brownfields per their hazards for people's lives and health in order to establish the order for their elimination.

Human health risk assessment under exposure in brownfield-influenced areas was conducted by experts of the Center for Hygiene and Epidemiology in the Perm region in accordance with the Rospotrebnadzor's certified methodology based on the fuzzy set theory. Forty to fifty indicators were estimated for each object considering specific features and types of brownfields. The analysis covered 29 objects located in the Perm region. Background materials were examined on each object; overall, 1100 additional laboratory tests were performed to assess quality of environmental objects (ambient air, soils, natural and drinking water).

According to the results obtained by the complex assessment, 4 brownfields were ranked as 'high risk objects' ($R = 0.75 \div 0.62$); 16 were ranked as 'medium risk objects' ($R = 0.51 \div 0.41$); 9 were ranked as 'moderate risk objects' ($R = 0.39 \div 0.25$). Among the identified high risk objects, three were represented by industrial waste landfills of mining and chemical enterprises; one was an unregulated dump. High risk objects were characterized with substantial volumes of accumulated wastes of formed economic activities, long existence period and unregulated effects on the environment; they were located within settlements where safe standards for the quality of the environment were violated in residential areas per indicators, which were typical brownfield markers.

Medium and moderate risk objects were located in small settlements or beyond their boundaries and safe standards for the quality of the environment were not violated in residential areas.

Data on health risks and priorities for funding and implementing activities aimed at eliminating objects of accumulated environmental damage were submitted to Rospotrebnadzor and executive authorities of the Perm region.

Keywords: brownfield, General Cleaning Federal Project, health risk criteria, categorizing, ranking.

© Kostarev V.G., Shlyapnikov D.M., Brazhkin A.V., Pazderina T.G., May I.V., Maksimova E.V., 2025

Vitalii G. Kostarev – Candidate of Medical Sciences, Chief State Sanitary Inspector in Perm region, Head of Rospotrebnadzor office in Perm region (e-mail: urpn@59.rospotrebnadzor.ru; tel.: + 7 (342) 239-35-63, 239-34-35; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5135-8385>).

Dmitry M. Shlyapnikov – Candidate of Medical Sciences, Chief Physician (e-mail: cgepo@mail.ru; tel.: + 7 (342) 239-34-09).

Anatolii V. Brazhkin – specialist of the Laboratory of Social and Hygienic Monitoring (e-mail: brazhkin.anatol@yandex.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04).

Tatyana G. Pazderina – Head of the Department of Municipal Hygiene (e-mail: cgepo@mail.ru; tel.: +7 (342) 239-34-09).

Irina V. May – Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher – Director Advisor (e-mail: may@ferisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-47; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>).

Ekaterina V. Maksimova – Junior Researcher at the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: maksimova@ferisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-9955>).

References

1. Lodge E.K., Guseh N.S., Martin C.L., Fry R.C., White A.J., Ward-Caviness C.K., Galea S., Aiello A.E. The effect of residential proximity to brownfields, highways, and heavy traffic on serum metal levels in the Detroit Neighborhood Health Study. *Environ. Adv.*, 2022, vol. 9, pp. 100278. DOI: 10.1016/j.envadv.2022.100278
2. Izvekova T.V., Gusev G.I., Gordina N.E., Sitanov R.D., Gushchin A.A. Assessment of the impact of a sludge reservoir for iron-containing waste on environmental components. *ChemChemTech*, 2024, vol. 67, no. 11, pp. 145–153. DOI: 10.6060/ivkkt.20246711.7140 (in Russian).
3. Colles A., Ardeleanu E.-R., Candeias C., Ranzi A., Demeter Z., Hofer A., Kowalska M., Makris K.C. [et al.]. Human biomonitoring as a tool for exposure assessment in industrially contaminated sites (ICSs). Lessons learned within the ICS and Health European Network. *Epidemiol. Prev.*, 2019, vol. 43, no. 4, pp. 249–259. DOI: 10.19191/EP19.4.A03.070
4. Guo P., Li H., Zhang G., Tian W. Contaminated site-induced health risk using Monte Carlo simulation: evaluation from the brownfield in Beijing, China. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2021, vol. 28, no. 20, pp. 25166–25178. DOI: 10.1007/s11356-021-12429-4
5. Weeks J.J., Hettiarachchi G.M., Santos E., Tatarko J. Potential human inhalation exposure to soil contaminants in urban gardens on brownfields sites: A breath of fresh air? *J. Environ. Qual.*, 2021, vol. 50, no. 3, pp. 782–790. DOI: 10.1002/jeq2.20208
6. Wang W., Dack S., Mudway I., Walder H., Davies B., Kamanyire R., Fecht D. Brownfield land and health: A systematic review of the literature. *PLoS One*, 2023, vol. 18, no. 8, pp. 0289470. DOI: 10.1371/journal.pone.0289470
7. Zheng B., Masrabaye F. Sustainable brownfield redevelopment and planning: Bibliometric and visual analysis. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 2, pp. e13280. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13280
8. Solovyayov A.A. Experience of the Netherlands, Belgium and Canada in remediation of past environmental liabilities. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2018, no. 5, pp. 48–54. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-5-48-54 (in Russian).
9. Solovyayov A.A. Experience of the Great Britain, Germany and Denmark in removal of the objects of accumulated environmental damage. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2018, no. 3, pp. 49–55. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-5-48-54 (in Russian).
10. Kabackaya L.N. Foreign experience in legal regulation of liquidation of accumulated environmental damage. *Zhurnal zarubezhnogo zakonodatel'stva i sravnitel'nogo pravovedeniya*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 114–128. DOI: 10.12737/jflcl.2020.005 (in Russian).
11. Gol'denman G. Opyt stran Evropeiskogo soyuza i stran Tsentral'noi i Vostochnoi Evropy v reshenii problem proshlogo ekologicheskogo ushcherba. Diskussionnyi doklad dlya Vsemirnogo banka [The experience of European Union countries and Central and Eastern European countries in solving the problems of past environmental damage. Discussion paper for the World Bank]. *InEcA-consulting, LLC*, 2006. Available at: <https://ineca.ru/?dr=projects&projects=social/pel/material&docname=opyt> (February 09, 2025) (in Russian).
12. Berman L., Morar C., Unkart S., Erdal S. An Overview of Brownfields Redevelopment in the United States through Regulatory, Public Health, and Sustainability Lenses. *J. Environ. Health*, 2022, vol. 84, no. 9, pp. 8–14.
13. Pichugin E.A., Shenfeld B.E. The health of citizens and their life expectancy as a criterion for assessing the negative impact of objects of accumulated environmental damage on the state of the environment and man. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2021, no. 3, pp. 62–70. DOI: 10.24412/1816-1863-2021-3-62-70 (in Russian).
14. Zemlyanova M.A., Zaitseva N.V., Koldibekova Yu.V., Pustovalova O.V. Changes in biochemical parameters in children exposed to objects of accumulated environmental damage. *Gigiena i sanitariya*, 2022, vol. 101, no. 6, pp. 675–682. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-6-675-682 (in Russian).
15. Zaitseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Guskov A.A., Kolesnikova N.I., Maksimova E.V. Methodological approaches and some results of the assessment of objects of accumulated environmental damage according to public health risk criteria. *Gigiena i sanitariya*, 2023, vol. 102, no. 5, pp. 523–531. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-523-531 (in Russian).
16. Nizametdinov R.E., Averin S.I. Designing, development and documenting an information system "Ecological tourism of Perm region". *Aktual'nye problemy matematiki, mekhaniki i informatiki: sbornik statei po materialam studentcheskoi konferentsii*, Perm, 2024, pp. 146–150 (in Russian).
17. Hajeeh M., Al-Othman A. Application of the analytical hierarchy process in the selection of desalination plants. *Desalination*, 2005, vol. 174, no. 1, pp. 97–108. DOI: 10.1016/j.desal.2004.09.005
18. Swartjes F.A. Human health risk assessment related to contaminated land: state of the art. *Environ. Geochem. Health*, 2015, vol. 37, no. 4, pp. 651–673. DOI: 10.1007/s10653-015-9693-0
19. Zhang S., Han Y., Peng J., Chen Y., Zhan L., Li J. Human health risk assessment for contaminated sites: A retrospective review. *Environ. Int.*, 2023, vol. 171, pp. 107700. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107700
20. Majeed K.F., Salama E., Elfiki S.A., Al-Bakhat Y.M.Z. Natural radioactivity assessment around the petroleum-producing areas of The-Qar province, Iraq. *Environ. Earth Sci.*, 2021, vol. 80, no. 2, pp. 64. DOI: 10.1007/s12665-020-09316-5
21. Liu S., Wang L., Guo C. Heavy metal pollution and ecological risk assessment in brownfield soil from Xi'an, China: An integrated analysis of man-land interrelations. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 11, pp. e0241398. DOI: 10.1371/journal.pone.0241398
22. Dregulo A.M. Distribution and specific activity of soil radionuclides in the soils of pastenviromental damage (for example of sewage sludge landfills). *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2018, no. 3, pp. 27–35 (in Russian).

23. Baburina T.A. Ekologicheskaya otsenka negativnogo vliyaniya stochnykh vod poligona TBO (fil'trata) na okruzhayushchuyu sredu [Environmental assessment of the negative impact of waste water from a landfill (leachate) on the environment]. *Voprosy nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 6 (7), pp. 177–178 (in Russian).
24. Vinti G., Bauza V., Clasen T., Medlicott K., Tudor T., Zurbrugg C., Vaccari M. Municipal solid waste management and adverse health outcomes: A systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 8, pp. 4331. DOI: 10.3390/ijerph18084331
25. Klepikov O.V. An evaluation of risk to population's health risk from objects of accumulated environmental harm – solid communal wastes. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*, 2023, no. 12 (138). DOI: 10.23670/IRJ.2023.138.36 (in Russian).
26. Tenodi S., Krčmar D., Agbaba J., Zrnić K., Radenović M., Ubavin D., Dalmacija B. Assessment of the environmental impact of sanitary and unsanitary parts of a municipal solid waste landfill. *J. Environ. Manage.*, 2020, vol. 258, pp. 110019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.110019
27. Zaytseva N.V., Ustinova O.Yu., Zemlyanova M.A. Medical and preventive technologies of the management of the risk of health disorders associated with exposure to adverse environmental factors. *Gigiena i sanitariya*, 2015, vol. 94, no. 2, pp. 109–113 (in Russian).

Kostarev V.G., Shlyapnikov D.M., Brazhkin A.V., Pazderina T.G., May I.V., Maksimova E.V. Assessing and ranking of brownfields per health risk criteria: experience gained in the Perm region. *Health Risk Analysis*, 2025, no. 1, pp. 51–62. DOI: 10.21668/health.risk/2025.1.05.eng

Получена: 17.02.2025

Одобрена: 20.03.2025

Принята к публикации: 27.03.2025