

ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА: АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ АНАЛИЗА РИСКА ЗДОРОВЬЮ

УДК 614.4
DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.01



Научная статья

К ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ НА ЗДОРОВЬЕ ГРАЖДАН И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ИХ ЖИЗНИ

**Н.В. Зайцева¹, И.В. Май¹, С.В. Клейн¹, Д.А. Кирьянов¹, А.М. Андришунас¹,
Н.Н. Слюсарь², Е.В. Максимова¹, М.Р. Камалтдинов¹**

¹Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Россия, 6140045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29

Актуальность исследования определена наличием на территории Российской Федерации значительного числа объектов накопленного вреда окружающей среде (НВОС) и законодательным закреплением задач ликвидации таких объектов. В соответствии с федеральным проектом «Генеральная уборка» разработаны методические подходы к оценке воздействия объектов НВОС на здоровье граждан и продолжительность их жизни. Цель методики – выделение объектов, подлежащих первоочередной ликвидации.

В качестве базового метода выбрана теория нечетких множеств. Для каждого типа объектов НВОС разработан унифицированный комплекс показателей (40 и более), отражающий степень опасности объекта для здоровья населения. Показатели объединены в несколько условных групп: общая характеристика; климатические, пространственные характеристики; геологические и гидрологические показатели территории; показатели качества объектов среды обитания в зоне влияния объекта. Использовали шкалы, градуирующие уровень опасности для здоровья с учетом весовых вкладов отдельных показателей и группы в целом в совокупный риск нарушения здоровья населения в зоне влияния объекта НВОС. Оценку воздействия выполняли с учетом видов и тяжести потенциальных нарушений функций критических органов и систем человека при воздействии загрязнения.

Предложен алгоритм и методы расчета риска негативного воздействия. Шкала диапазонов риска (от 0 до 1) предполагает выделение уровней «низкий», «умеренный», «средний», «высокий», «очень высокий риск». Объекту НВОС присваивается категория, соответствующая максимальному значению функции принадлежности.

В отношении объектов «высокого» и «очень высокого риска» предполагается выполнение углубленной оценки воздействия с проведением специальных медико-биологических исследований.

© Зайцева Н.В., Май И.В., Клейн С.В., Кирьянов Д.А., Андришунас А.М., Слюсарь Н.Н., Максимова Е.В., Камалтдинов М.Р., 2022

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

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

Клейн Светлана Владиславовна – доктор медицинских наук, заведующий отделом системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Кирьянов Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, заведующий отделом математического моделирования систем и процессов (e-mail: kda@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

Андришунас Алена Мухаматовна – младший научный сотрудник отдела системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга (e-mail: ama@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0072-5787>).

Слюсарь Наталья Николаевна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Охрана окружающей среды» (e-mail: nnslyusar@gmail.com; тел.: 8 (342) 239-14-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0123-6907>).

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>).

Камалтдинов Марат Решидович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник с исполнением обязанностей заведующего лабораторией ситуационного моделирования и экспертно-аналитических методов управления (e-mail: kmr@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

Апробация методики показала адекватность выбранных подходов и важность сбора полных и актуальных исходных данных о качестве среды обитания в зонах влияния объектов НВОС.

В 2022 г. порядка 192 объектов должны пройти экспресс-оценку силами специалистов Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. По итогам работ все объекты НВОС подлежат ранжированию с определением тех, которые формируют наибольшие риски для здоровья населения, подлежат первоочередной ликвидации и проведению полной углубленной оценки.

Ключевые слова: федеральный проект «Генеральная уборка», объекты накопленного вреда окружающей среде, здоровье населения, оценка воздействия, алгоритм и методика.

Длительная, разнообразная, не всегда экологически безопасная деятельность человека имела следствием образование и размещение на природных и высокоурбанизированных территориях значительного числа неиспользуемых, но загрязняющих окружающую среду объектов. Это места бесхозного складирования отходов, заброшенные здания, сооружения, невостребованные агрохимикаты, удобрения, полупродукты, неутилизированная тара и т.п. [1–3]. Проблема затрагивает практически все развитые страны, каждая из которых формирует собственную систему правовых и организационных решений [4, 5]. К основным принципам, которым следуют государства, накопившие опыт ликвидации прошлого экологического вреда (Дания¹, Нидерланды², Великобритания³ и др.⁴), можно отнести:

– привлечение виновников возникновения объектов накопленного экологического ущерба к финансированию мероприятий по их ликвидации; признание обязательств государства в случаях, когда виновник не найден, не платежеспособен или истек срок давности действия закона;

– возложение основной ответственности по выявлению и ликвидации таких объектов на региональные власти, при этом последние имеют право принимать свои нормативные правовые акты в этой сфере, учитывающие специфику их территорий;

– приоритет рекультивации тех территорий, влияние которых на состояние окружающей среды и здоровье людей вызывает наибольшие опасения;

прочие объекты могут оставаться законсервированными на длительный период;

– обязательность исследования территории на предмет наличия опасных веществ при смене функционального назначения участка и его правового статуса;

– создание и ведение общедоступных информационных ресурсов (сайты, реестры, кадастры и др.), содержащих исчерпывающие данные о состоянии территории.

В Российской Федерации юридические понятия «накопленный вред окружающей среде» и «объект накопленного вреда окружающей среде» были впервые введены Федеральным законом от 3 июля 2016 г. № 254-ФЗ⁵. К объектам накопленного вреда были отнесены «территории и акватории, 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». В Федеральном законе «Об охране окружающей среды»⁶ появилась глава (XIV.1), регламентирующая вопросы выявления, оценки, учета и ликвидации накопленного вреда окружающей среде (НВОС).

Закон предусматривает категорирование объектов накопленного вреда окружающей среде для определения из них приоритетных «в целях обоснования очередности проведения работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде и принятия неотложных мер» (п. 6 ст. 80.1 Федерального зако-

¹ Environmental Liability Directive Guidelines [Электронный ресурс] // Environmental Protection Agency, Agency for Spatial and Environmental Planning. – 2012. – URL: https://ec.europa.eu/environment/legal/liability/pdf/eld_guidance/denmark.pdf (дата обращения: 31.12.2021).

² Guidelines for Part 17.2 of the Dutch Environmental Management Act: measures in the event of environmental damage or its imminent threat [Электронный ресурс]. – The Netherlands, 2008. – URL: https://ec.europa.eu/environment/legal/liability/pdf/eld_guidance/netherlands.pdf (дата обращения: 31.12.2021).

³ The Environmental Damage (Prevention and Remediation) Regulations 2009. Guidance for England and Wales [Электронный ресурс] // Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra). – 2009. – URL: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20130402151656/http://archive.defra.gov.uk/environment/policy/liability/pdf/indepth-guide-regs09.pdf> (дата обращения: 31.12.2021).

⁴ The Environmental Liability (Prevention and Remediation) Regulations (Northern Ireland) 2009 [Электронный ресурс] // Department of Environment for Northern Ireland (DOENI). – 2009. – URL: <https://www.legislation.gov.uk/nisr/2009/252/regulation/1/made> (дата обращения: 31.12.2021).

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: 24.01.2022).

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: 24.01.2022).

на № 7-ФЗ). Из семи отдельных показателей, которые определяют категорию объекта, напрямую воздействие на население должны характеризовать два: «количество населения, проживающего на территории, окружающая среда на которой испытывает негативное воздействие вследствие расположения объекта накопленного вреда окружающей среде» и «количество населения, проживающего на территории, окружающая среда на которой находится под угрозой негативного воздействия... объекта накопленного вреда окружающей среде». К сожалению, четких критериев «территории под воздействием объектов НВОС» или «территории под угрозой воздействия» на текущий момент не содержит ни один нормативный или методический документ, включая Приказ Минприроды от 04.08.2017 г. № 435 «Критерии категорирования объектов, накопленный вред окружающей среде на которых подлежит ликвидации в первоочередном порядке»⁷. Соответственно, крайне сложно объективно оценить численность населения под непосредственным воздействием или под угрозой воздействия объекта. Сложно оценить характер и интенсивность воздействия.

Вместе с тем такая объективная оценка более чем актуальна. Большинство объектов НВОС расположено в непосредственной близости к поселениям (городам, поселкам городского типа, деревням), поскольку они были изначально приближены либо к местам приложения труда (места складирования промышленных отходов, заброшенные бесхозные производственные площадки, здания и сооружения и пр.), либо к местам постоянного проживания (свалки и полигоны коммунальных отходов). Объекты нередко характеризуются факторами химической, биологической, радиационной опасности для здоровья населения и могут формировать медико-демографические потери, которые не учитываются экологическими критериями [6–8].

Федеральный проект «Генеральная уборка» предусматривает разработку методических рекомендаций по оценке риска воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье граждан и продолжительность их жизни⁸. Назначение документа – формирование инструментария для выделения тех объектов, которые могут оказать наибольшее негативное воздействие на здоровье населения. Документ, не отменяя экологических

критериев, позволяет учесть не менее важные аспекты воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде – воздействие на здоровье граждан и продолжительность их жизни.

Цель исследования – разработка и апробация методических подходов, предусмотренных федеральным проектом и обеспечивающих оценку влияния объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье населения и продолжительность жизни граждан.

Материалы и методы. При разработке подходов был учтен опыт исследования загрязненных, захлываемых и иных территорий и объектов, которые отнесены к «объектам накопленного вреда». Принято во внимание, что многие исследователи, описывая угрозы и опасности объектов накопленного вреда, отмечают необходимость учета и исследования всего спектра химического загрязнения атмосферного воздуха [9, 10], химической и микробной контаминации почв [11–14], поверхностных водных объектов [15–17]. В ряде работ подчеркивают значимость фильтрационных параметров грунтов по почвенному профилю для корректной прогнозно-аналитической оценки распространения загрязнения за пределы мест накопления и длительного хранения жидких и полужидких отходов, в том числе шламонакопителей [18, 19]. В последние годы поднимаются и обсуждаются вопросы угроз и опасностей объектов накопленного вреда в Арктической зоне [20–22]. Сохраняют актуальность аспекты радиационной безопасности объектов накопленного вреда [23–25] и т.п.

Как следствие, при разработке методики предусматривали максимально полный перечень показателей, которые могли бы характеризовать влияние объекта на качество среды обитания человека и его здоровье.

В качестве адекватной методической основы оценки воздействия НВОС на здоровье и продолжительность жизни населения была выбрана теория нечетких множеств (нечеткой логики) [26]. Общее описание методов нечеткой логики изложено в стандарте⁹, разработанном с учетом международных подходов к менеджменту риска, технологиям оценки риска. Основанием для выбора метода являлось то, что нечеткое моделирование множеств позволяет включать в анализ как количественные, так и качественные переменные, оперирует нечеткими входными

⁷ Об утверждении критериев и срока категорирования объектов, накопленный вред окружающей среде на которых подлежит ликвидации в первоочередном порядке: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 августа 2017 года № 435 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456089663> (дата обращения: 24.01.2022).

⁸ Паспорт федерального проекта «Генеральная уборка» [Электронный ресурс] // Правительство России. – URL: <http://static.government.ru/media/files/DoFhF6zbaji5mAKgkefAjTssLoyUOyS.pdf> (дата обращения: 08.02.2022).

⁹ ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска / утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2019 г. № 1405-ст [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170253> (дата обращения: 08.02.2022).

данными с возможностью быстрого моделирования (в том числе сценарного) сложных динамических ситуаций и проведения сравнительных оценок с заданной степенью точности [27, 28].

Для оценки степени влияния каждого показателя на здоровье населения использовали шкалы, градуирующие уровень опасности для здоровья с учетом весовых вкладов отдельных показателей и группы в целом (компонентные риски показателей и группы в целом) в совокупный риск нарушения здоровья и сокращения продолжительности жизни населения, постоянно проживающего в зоне влияния объекта НВОС.

Оценку воздействия выполняли с учетом видов и тяжести потенциальных нарушений функций критических органов и систем человека при воздействии загрязнения, формируемого конкретным объектом НВОС. Критические органы и системы принимали в соответствии с данными методических документов Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в установленном порядке¹⁰. Тяжесть нарушения здоровья принимали с учетом данных ВОЗ и иных релевантных источников [29].

При разработке методики учитывали, что в соответствии с Федеральным законом объекты НВОС населения подразделяются на следующие крупные группы (типы):

- территории, на которых выявлен НВОС;
- акватории, на которых выявлен НВОС;
- объекты капитального строительства, являющиеся источником НВОС;
- объекты размещения отходов.

Для более корректной оценки воздействия объекты размещения отходов дифференцировали с выделением объектов размещения твердых и жидких отходов.

Методические подходы предусматривают двухэтапную оценку воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье граждан и продолжительность их жизни:

- экспресс-оценку, предполагающую оценку воздействия на население по документарным материалам, результатам разовых и / или выборочных данных измерений качества среды обитания, данным медицинской статистики общего характера;
- полную оценку, предполагающую направленные исследования состояния здоровья населения под воздействием объекта НВОС с учетом специфики влияния объекта.

Экспресс-оценка рассматривалась как процедура получения расчетных сравнительных характеристик объектов разного типа, мощности, продолжительности существования и степени воздействия на среду обитания и здоровье населения, а также

ранжирование объектов НВОС по степени потенциального воздействия на здоровье граждан и продолжительность их жизни для определения объектов, подлежащих ликвидации в приоритетном порядке.

Полная оценка предполагала верификацию рассчитанных при экспресс-оценке уровней негативного воздействия, формирование доказательных данных о реальном уровне медико-демографических потерь за период существования объекта НВОС и оценку в постпроектный период (после ликвидации объекта накопленного вреда) фактического, в том числе экономического, эффекта от ликвидации объекта.

С целью выделения приоритетов по критериям воздействия на население предложен алгоритм, предусматривающий следующие шаги:

- максимально полный сбор данных об объекте НВОС;
- экспресс-оценка воздействия объекта НВОС на здоровье граждан и продолжительность их жизни, расчет величины, характеризующей риск негативных последствий;
- ранжирование объектов по уровням риска негативного воздействия;
- выделение объектов, относимых к категориям очень высокого и высокого риска воздействия на здоровье населения.

Результаты и их обсуждение. Для каждого типа объектов НВОС разработан унифицированный комплекс показателей (40 и более), отражающий особенности влияния НВОС на объекты среды обитания и степень опасности для здоровья населения.

Показатели объединены в несколько условных групп:

- общая характеристика объекта НВОС (время существования объекта НВОС, занимаемая площадь, объем / масса накопленных отходов или число брошенных бесхозных объектов капитального строительства, наличие собственника объекта, размещение объекта в зоне вечной мерзлоты, степень захламления территории и т.п.);
- климатические характеристики территории размещения объекта НВОС (тип климата, повторяемость ветра в направлении жилой застройки, уровень выпадения осадков и т.п.);
- пространственные характеристики объекта НВОС относительно мест пользования населением (расстояние до ближайшего населенного пункта, численность населения, постоянно проживающего в зоне влияния НВОС, наличие санитарно-защитной зоны, расстояние до ближайшего пункта водопользования, размещение относительно зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения и т.п.);
- геологические и гидрологические показатели территории (типы подстилающих грунтов, глубина залегания грунтовых вод, наличие гидроизо-

¹⁰ Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.

ляционного экрана, наличие обваловок, отводных каналов и пр.);

– показатели качества объектов среды обитания в зоне влияния НВОС (химические, микробиологические, радиационные показатели качества атмосферного воздуха, природных и питьевых вод, почв, сельскохозяйственных продуктов питания, выращиваемых в зоне влияния объекта НВОС). К этой же группе показателей отнесено наличие жалоб населения на качество объектов среды обитания в зоне влияния объектов НВОС.

Негативное воздействие объектов НВОС на здоровье населения оценивается по единому алгоритму с учетом всего комплекса потенциальных угроз и опасностей, характерных для объекта. В результате генерируются унифицированные показатели риска негативного воздействия объекта на здоровье и продолжительность жизни граждан, обеспечивающие сравнимость объектов НВОС между собой и возможность относить объект к определенной категории риска негативного воздействия:

- пренебрежимо малый риск воздействия;
- низкий риск;
- средний риск;
- высокий риск;
- очень высокий риск.

Принято, что в отношении объектов, отнесенных по результатам первого этапа оценки воздействия (экспресс-оценки) к категориям очень высокого или высокого риска, целесообразным является проведение полной оценки воздействия с анализом фак-

тического состояния здоровья населения и формированием доказательной базы реализации рисков здоровью.

При экспресс-оценке воздействия объектов НВОС на здоровье и продолжительность жизни учитываются данные о параметрах собственно объекта НВОС, данные о качестве среды обитания в зоне влияния объекта, данные медицинской статистики о состоянии здоровья населения, постоянно проживающего в зоне влияния объекта НВОС. Каждый учитываемый параметр оценивается интервальными значениями (интервалами) и соотносится с конкретным диапазоном заданной шкалы риска (пренебрежимо малый, низкий, средний, высокий, очень высокий).

Предложено рассматривать зону влияния объекта накопленного вреда на здоровье населения как территорию (акваторию), описываемую условной границей, расположенной на расстоянии не менее двукратного размера санитарно-защитной зоны объекта или на расстоянии до 1 км ниже по течению водотока от границы земельного участка, на котором расположен объект. Объекты капитального строительства, для которых санитарной классификацией не установлены размеры санзон, приравниваются к пятому классу опасности. Зона влияния оценивается в 100 м от границ земельного участка, на котором данный объект расположен.

В табл. 1 в качестве примера приведен фрагмент исходной матрицы для оценки риска объекта накопленного вреда из группы «Твердые отходы».

Таблица 1

Фрагмент перечня показателей опасности объектов размещения отходов (твердые химические отходы), являющихся источником накопленного вреда окружающей среде, с критериями диапазонов опасности

Показатель шкалы	Единица измерения	Категория опасности объекта НВОС				
		пренебрежимо малая	низкая	средняя	высокая	очень высокая
<i>Общая характеристика объекта НВОС</i>						
Период существования объекта	лет	[0; 2); [40; +∞]	(40; 30]	(30; 20]	(20; 10]	(10; 2]
Масса отходов / объем отходов	тыс. т	[0; 50)	(50; 250]	(250; 500]	(500; 1000]	(1000; +∞)
Площадь, занятая объектом	га	[0; 0,1]	(0,1; 1]	(1; 100]	(100; 500]	(500; +∞)
Доля отходов 1–3-го классов	%	(0; 10]	(10; 25]	(25; 40]	(40; 50]	(50; +∞)
Доля биоразлагаемой фракции	%	[0; 10]	(10; 30]	(30; 60]	(60; 80]	(80; 100]
Наличие канцерогенных, эмбриотоксичных веществ	–	Нет	Нет	Да	Да	Да
Наличие медицинских необработанных отходов	–	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Класс опасности отходов	–	[5]	[4; 5]	[3; 5]	[2; 5]	[1; 5]
<i>Климатические характеристики территории размещения объекта НВОС</i>						
Размещение в зоне вечной мерзлоты	–	Нет	Нет	Нет	Да	Да
Климатическая зона	зона	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Субтропическая	Арктическая, субарктическая
Уровень выпадения осадков	мм/г.	[0; 800]	(800; 1000]	(1000; 1500]	(1500; 2000]	(2000; +∞)
Частота повторяемости ветра в направлении жилой застройки	%	[0; 5]	(5; 10]	(10; 20]	(20; 40]	(40; +∞)
Вероятность и масштабы чрезвычайных ситуаций	–	Нет	Нет	Нет	Да	Да
Расположение в зоне опасных природных явлений	–	Нет	Нет	Нет	Да	Да

Показатель шкалы	Единица измерения	Категория опасности объекта НВОС				
		пренебрежимо малая	низкая	средняя	высокая	очень высокая
<i>Пространственные характеристики объекта НВОС относительно мест пользования населением</i>						
Расстояние до ближайшего поселения	м	(2000; +∞)	(1000; 2000]	(500; 1000]	[500; 0)	0
Численность населения в ближайшем поселении	тыс. чел.	[0; 1]	(1; 5]	(5; 50]	(50; 100]	(100; +∞)
Расстояние до ближайшего водного объекта	м	(1000; +∞)	[1000; 800]	(800; 500]	(500; 300]	[0; 300]
Расположение относительно зон санитарной охраны (ЗСО) источника питьевого водоснабжения	–	За пределами ЗСО	За пределами ЗСО	В третьем поясе ЗСО	Во втором поясе ЗСО	В первом поясе ЗСО
Расстояние от объекта до рекреационной / курортной зоны	м	(1500; +∞)	(1500; 1000]	(1000; 700]	(700; 300]	(300; –∞) / (300; в черте зоны)
Расстояние до границ земель сельскохоз. назначения	м	(1000; +∞)	(500; 1000]	(300; 500]	[300; 0)	[0]
Заболееваемости населения в поселении относительно регионального уровня	раз	[1]	(1; 1,2]	(1,2; 1,5]	(1,5; 2]	(2; +∞)
Численность населения в зоне потенциального аварийного загрязнения	тыс. чел.	[0; 1]	(1; 10]	(10; 40]	(40; 75]	(75; +∞)
<i>Геологические и гидрологические показатели территории</i>						
Коэффициент фильтрации подстилающих грунтов	м/с	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Глубина залегания грунтовых вод	м	[5; +∞)	[4]	[3]	[1; 2]	[0; 1]
<i>Показатели качества объектов среды обитания</i>						
Качество атмосферного воздуха в зоне объектов НВОС* (по отдельным показателям)	доли ПДК, ОБУВ	[0; 0,5ПДК]	(0,5ПДК; 1ПДК]	(1ПДК; 2ПДК]	(2ПДК; 5ПДК]	(5ПДК; +∞)
Наличие жалоб населения на качество атмосферного воздуха	ед./год	[0]	[0]	[1; 5]	(5; 10)	(10; +∞)
Показатель качества питьевой воды в ближайших поселениях	ед. измерения	[0; BOR1]**	(BOR1; BOR2]	(BOR2; BOR3]	(BOR3; BOR4]	(BOR4; +∞)
Наличие жалоб населения на качество питьевой воды	ед./год	[0]	[0]	[1; 5]	(5; 10)	(10; +∞)
Показатель качества почвы	ед. измерения	[0; BOR1]**	(BOR1; BOR2]	(BOR2; BOR3]	(BOR3; BOR4]	(BOR4; +∞)
Показатель качества пищевых продуктов, выращенных в зоне объектов НВОС	ед. измерения	[0; BOR1]**	(BOR1; BOR2]	(BOR2; BOR3]	(BOR3; BOR4]	(BOR4; +∞)

Примечания: *Перечень показателей не ограничен и определяется исключительно спецификой объекта и его влиянием на среду обитания; ** – BOR1, BOR2, BOR3, BOR4 – верхние значения диапазонов показателей качества объектов среды обитания в соответствии с их принадлежностью к пяти категориям риска здоровью соответственно.

Как видно из приведенных данных, для количественных показателей область значений делится на диапазоны с нечеткими границами, при этом количество диапазонов соответствует количеству категорий опасности. Использование нечетких множеств предполагает пересечение соседних диапазонов на 20 %.

Каждый диапазон значений количественного показателя представляет собой трапециевидное нечеткое число с функцией принадлежности к определенной категории риска, которое задается четверкой чисел (a_1, a_2, a_3, a_4) . В общем виде функция принадлежности значения показателя задается формулой (1):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a_1, \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{если } a_1 \leq x < a_2, \\ 1, & \text{если } a_2 \leq x \leq a_3, \\ \frac{x - a_4}{a_3 - a_4}, & \text{если } a_3 < x \leq a_4, \\ 0, & \text{если } x > a_4. \end{cases} \quad (1)$$

Например, значение показателя $x = 0,23$. Рассмотрим промежуток $[0,2; 0,4]$, тогда нечеткое число, соответствующее этому отрезку, равно $(0,16, 0,24, 0,32, 0,48)$, где $a_1 = 0,2 \cdot 0,80 = 0,16$, $a_2 = 0,2 \cdot 1,2 = 0,24$,

$a_3 = 0,4 \cdot 0,8 = 0,32$, $a_4 = 0,4 \cdot 1,2 = 0,48$ (границы промежутка «размыли» на 20 %). Так как $a_1 < 0,23 < a_2$, то значение функции принадлежности для значения показателя $x = 0,23$, согласно формуле (1), равно

$$\mu(x) = (0,23 - 0,16) / (0,24 - 0,16) = 0,07 / 0,08 = 0,875.$$

Это значит, что на 87,5 % рассматриваемый показатель принадлежит указанному промежутку.

Величина $\mu(x)$ отражает принадлежность диапазона значения показателя к соответствующей степени опасности.

Для качественных показателей функция принадлежности задается в виде (2):

$$\{x / \mu(x)\} = \{\text{значение}1 / \mu_1, \text{значение}2 / \mu_2, \text{значение}3 / \mu_3, \dots\}. \quad (2)$$

Для каждого показателя и группы показателей задаются весовые коэффициенты, учитываемые при расчете совокупного риска воздействия. Весовые коэффициенты групп показателей для разных типов НВОС различны и учитывают специфику воздействия на среду обитания и здоровье населения.

Для химических веществ, для которых определены критические органы и системы и, соответственно, установлены средние для класса заболеваний тяжести нарушений здоровья (в диапазоне от 0 до 1), определение весового коэффициента осуществляется по правилу Фишберна [30] с учетом наиболее тяжелого вида нарушения здоровья (3):

$$G_{-l} = (2(n-l+1)) / ((n+1)n), \quad (3)$$

где G_{-l} – весовой коэффициент показателя, для которого определены критические органы или системы (негативный ответ), занимающие l -й ранг по степени тяжести;

n – общее количество классов болезней, установленных в совокупном негативном ответе;

l – ранг негативного ответа (класса болезни) по степени тяжести.

На основе имеющейся документации (проектной, документации, содержащейся в реестре объектов НВОС, данных публичных кадастровых карт, протоколов исследований, испытаний, экспертиз и иной документации) заполняются исходные таблицы, характеризующие конкретный объект НВОС.

Определяются значения функции принадлежности ($\mu(x)$) каждого показателя к степеням опасности в соответствии с заданными условиями шкалирования по формулам (1)–(2).

Для каждой группы показателей рассчитывается величина риска по формуле (4):

$$R_j = \sum_k \bar{R}_k w_{kj}, \quad (4)$$

где R_j – величина риска здоровью от j -й группы показателей;

w_{kj} – средневзвешенная принадлежность j -й группы показателей, к k -й степени опасности;

\bar{R}_k – середина диапазона шкалы, соответствующего k -й степени опасности.

Средневзвешенная принадлежность группы показателей к степеням опасности w_{kj} определяется по формуле (5)

$$w_{kj} = \sum_{i \in j} G_i \mu_k(x_i), \quad (5)$$

где $\mu_k(x_i)$ – функция принадлежности i -го показателя к k -й степени опасности; G_i – весовой коэффициент i -го показателя.

Диапазоны шкалы риска и их середины приведены в табл. 2.

Таблица 2

Диапазоны шкалы категорий риска здоровью и их средние значения

Показатель шкалы	Категория риска здоровью				
	низкий	умеренный	средний	высокий	очень высокий
Диапазон (\bar{R}_k)	(0; 0,25]	(0,15; 0,45]	(0,35; 0,65]	(0,55; 0,85]	(0,75; 1,0]
Среднее значение по диапазону (\bar{R}_k)	0,125	0,3	0,5	0,7	0,875

Совокупный риск (R) по всем группам показателей рассчитывают по формуле (6):

$$R = \sum_j R_j v_j, \quad (6)$$

где v_j – весовой вклад j -й группы показателей в совокупный риск.

Весовой вклад группы показателей в совокупный риск здоровью определяется в соответствии с табл. 3.

Величина риска вредного воздействия на здоровье населения используется для ранжирования объектов НВОС. Отнесение объекта к той или иной категории риска по воздействию на здоровье устанавливается по принадлежности величины R данного объекта к диапазону, указанному в табл. 1.

В силу того, что величина риска может располагаться на границе значений и принадлежать одновременно к разным диапазонам риска (например: $R = 0,22$ одновременно принадлежит и диапазону «умеренный» и диапазону «низкий»), однозначное отнесение объекта НВОС к той или иной категории проводится в соответствии с табл. 4.

Таблица 3

Весовые коэффициенты для групп показателей, характеризующих объекты НВОС разных типов

Группа показателей	Твердые отходы	Жидкие химические промышленные отходы	Жидкие органические отходы	Объекты капитального строительства	Территории	Акватория водного объекта
Общая характеристика	0,1	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1
Климатическая характеристика	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Пространственные характеристики	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
Геолого-гидрологические характеристики	0,15	0,25	0,2	0,35	0,15	0
Показатели качества среды обитания	0,35	0,25	0,3	0,1	0,35	0,4

Таблица 4

Шкала диапазонов значений, категорий риска здоровью

Диапазон значений риска здоровью	Функция принадлежности величины риска к диапазонам значений шкалы	Категория риска здоровью
[0; 0,25]	$\mu_1(R) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq R \leq 0,15, \\ 10(0,25 - R), & \text{если } 0,15 \leq R \leq 0,25 \end{cases}$	Низкий
(0,15; 0,45]	$\mu_2(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,25 - R), & \text{если } 0,15 \leq R \leq 0,25, \\ 1, & \text{если } 0,25 \leq R \leq 0,35, \\ 10(0,45 - R), & \text{если } 0,35 \leq R \leq 0,45 \end{cases}$	Умеренный
(0,35; 0,65]	$\mu_3(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,45 - R), & \text{если } 0,35 \leq R \leq 0,45, \\ 1, & \text{если } 0,45 \leq R \leq 0,55, \\ 10(0,65 - R), & \text{если } 0,55 \leq R \leq 0,65 \end{cases}$	Средний
(0,55; 0,85]	$\mu_4(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,65 - R), & \text{если } 0,55 \leq R \leq 0,65, \\ 1, & \text{если } 0,65 \leq R \leq 0,75, \\ 10(0,85 - R), & \text{если } 0,75 \leq R \leq 0,85 \end{cases}$	Высокий
[0,75; 1]	$\mu_5(R) = \begin{cases} 1 - 10(0,85 - R), & \text{если } 0,75 \leq R \leq 0,85, \\ 1, & \text{если } 0,85 \leq R \leq 1 \end{cases}$	Очень высокий

Объекту НВОС присваивается категория, соответствующая максимальному значению функции принадлежности.

Оценка вероятных эффектов в виде изменения ожидаемой продолжительности жизни населения, постоянно проживающего в зоне влияния объекта НВОС в условиях его длительного существования, выполнена на основании зависимостей, полученных в эпидемиологических исследованиях [31, 32].

Для конкретного объекта НВОС с установленным параметром риска воздействия на здоровье оценка вероятного изменения ожидаемой продолжительности жизни оценивается по формуле (7)

$$\Delta \text{ОПЖ} = R \cdot K, \quad (7)$$

где $\Delta \text{ОПЖ}$ – вероятное снижение ожидаемой продолжительности жизни вследствие воздействия объекта НВОС;

R – совокупный риск здоровью, рассчитанный по всем группам показателей;

K – коэффициент реализации риска в виде изменения ОПЖ, полученный на основе анализа релевантной научной литературы, $K = 1,6$.

По итогам оценки воздействия объекта НВОС на здоровье граждан и продолжительность их жизни

выполняется ранжирование объектов с целью определения приоритетов для выполнения работ по ликвидации.

В табл. 5 приведены результаты рекогносцировочной экспресс-оценки нескольких объектов, по которым на момент разработки методических подходов имелись исходные данные.

Полученные результаты по экспертным оценкам позволили получить адекватную оценку рассмотренным объектам. Вместе с тем апробация методических подходов показала, что основным недостатком исходных материалов является отсутствие или крайняя недостаточность показателей качества среды обитания. В связи с этим анализ фондовых материалов по бесхозным объектам или проведение инструментальных исследований качества атмосферного воздуха, природных и питьевых вод, почв, прежде всего сельскохозяйственного назначения, в зоне влияния объекта становятся приоритетной задачей органов и организаций Роспотребнадзора, на которые возложена функция выполнения экспресс-оценки объектов накопленного вреда.

В отношении объектов высокого и очень высокого риска воздействия, установленных по результатам проведения экспресс-оценки, предполагается

Таблица 5

Результаты экспресс-оценки нескольких объектов накопленного вреда при апробации методических подходов

Вид объекта накопленного вреда окружающей среде	Общие параметры	Климатические характеристики	Пространственные характеристики	Геолого-технологические характеристики	Характеристика объектов среды обитания	Величина риска	Характеристика риска	Ранг объекта
Шламонакопитель бывшего химического предприятия в черте поселения	0,21	0,11	0,15	0,06	0,33	0,86	Чрезв. высокий	1
Шлакоотвал в черте города	0,09	0,15	0,11	0,17	0,02	0,54	Средний	2
Свалка твердых коммунальных отходов вблизи городского поселения	0,08	0,14	0,08	0,02	0,19	0,51	Средний	3
Свалка инертных промышленных отходов на границе поселения	0,05	0,14	0,10	0,01	0,05	0,35	Средний	4
Свалка ТКО за чертой сельского поселения	0,06	0,14	0,02	0,01	0,02	0,25	Умеренный	5
Бесхозное здание за чертой поселения	0,00	0,09	0,01	0,01	0,01	0,12	Низкий	6

выполнение полной оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье граждан и продолжительность их жизни.

В стране на текущий момент накоплен значительный опыт проведения специальных исследований по установлению вреда здоровью в результате негативного влияния источников и факторов среды обитания [33–35].

Доказательство факта воздействия в виде нарушения здоровья граждан групп риска из зон воздействия, сформированных объектом НВОС, осуществляется на основании целевых исследований состояния здоровья как в отношении критических для конкретных воздействий органов и систем, так и с учетом этиопатогенетических механизмов развития вредных эффектов в условиях совокупных воздействий.

Полная оценка позволяет охарактеризовать степень и масштаб фактического совокупного воздействия объекта НВОС на здоровье граждан и продолжительность их жизни. Исследования обеспечивают максимальную объективизацию оценок вреда, демпфируют социальную напряженность и позволяют разработать и реализовать рекомендации по медико-профилактическим мероприятиям по защите населения до момента полной ликвидации объекта НВОС.

Предлагаемый математический аппарат реализован в виде программного инструментария, обеспечивающего автоматизированный расчет риска при вводе исходных данных.

Апробация методических подходов планируется уже в текущем году. В соответствии с паспортом федерального проекта «Генеральная уборка» (п. 1.4.)⁸ порядка 192 объектов должны пройти экспресс-оценку специалистами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека на основе данных из внешних источников, а также полученных в результате собственных исследований, обследований, инструментальных измерений.

По итогам работ все объекты накопленного вреда окружающей среде подлежат ранжированию с выделением тех, которые формируют наибольшие риски для здоровья населения и подлежат первоочередной ликвидации. Для ряда объектов с высокими и очень высокими рисками для здоровья людей будут рекомендованы углубленные обследования граждан.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Алыкова О.И., Чуйкова Л.Ю., Чуйков Ю.С. Накопленный экологический вред: проблемы и последствия. Сообщение 1. Государственный реестр ОНВОС // Астраханский вестник экологического образования. – 2021. – Т. 62, № 2. – С. 88–113. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-2-88-113
2. Алыкова О.И., Чуйкова Л.Ю., Чуйков Ю.С. Накопленный экологический вред: проблемы и последствия. Сообщение 2. Анализ ситуации // Астраханский вестник экологического образования. – 2021. – Т. 62, № 2. – С. 114–137. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-2-114-137
3. Зиновьев Д.С., Пичугин Е.А., Черепанов М.В. Основные проблемы государственного реестра объектов накопленного вреда окружающей среде // Астраханский вестник экологического образования. – 2021. – Т. 66, № 6. – С. 108–114. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-6-108-114
4. 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: 08.02.2022).
5. Ледашева Т.Н., Чернышев Д.А. Анализ зарубежного опыта решения проблем накопленного экологического ущерба // Науковедение: интернет-журнал. – 2014. – Т. 25, № 6. – 12 с. DOI: 10.15862/83EVN614

6. Актуальные проблемы выявления, учета, категорирования и ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде / Е.А. Пичугин, М.В. Черепанов, Е.В. Симакова, Б.Е. Шенфельд // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 6. – С. 113–121. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-6-113-121
7. 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
8. Поляков А.П., Сорокина Е.Г. Экологическая обстановка как фактор изменения состояния здоровья населения // World Science: Problems And Innovations: сборник статей победителей V Международной научно-практической конференции. – Пенза, 2016. – С. 357–360.
9. Иванцова Е.А. Оценка воздействия ликвидации техногенного массива размещения отходов производства и потребления на атмосферный воздух // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире: материалы всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов. – Казань, 2021. – С. 1363–1368.
10. 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
11. Ecotoxicological and pre-remedial risk assessment of heavy metals in municipal solid wastes dumpsite impacted soil in Morocco / H. El Fadili, M. Ben Ali, N. Touach, M. El Mahi, M. El Lotfi // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. – 2021. – Vol. 17. – P. 100640. DOI: 10.1016/j.enmm.2021.100640
12. Ojuri O.O., Ayodele F.O., Oluwatuyi O.E. Risk assessment and rehabilitation potential of a millennium city dumpsite in Sub-Saharan Africa // Waste Manag. – 2018. – Vol. 76. – P. 621–628. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.03.002
13. Иванова Ю.С., Горбачев В.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами под влиянием несанкционированных свалок (медико-экологический аспект) // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. – № 1. – С. 119–124.
14. Особенности микробных группировок почв в районе Кильмезского полигона захоронения ядохимикатов (Кировская область) / Г.И. Березин, Л.В. Кондакова, Л.И. Домрачева, Е.В. Дабах // Принципы экологии. – 2016. – Т. 18, № 2. – С. 4–15.
15. Yang W., Cai C., Dai X. Interactions between virus surrogates and sewage sludge vary by viral analyte: recovery, persistence, and sorption // Water Res. – 2021. – Vol. 210. – P. 117995. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117995
16. Влияние свалки твердых бытовых отходов на водные объекты (на примере городской свалки в городе Южно-Сахалинске) / В.А. Сахаров, О.А. Морозова, Е.Н. Выпряхкин, К.Х. И, Д.Р. Файзулин // Ученые записки Сахалинского государственного университета. – 2015. – Т. 11–12, № 1. – С. 87–91.
17. Останина Н.В., Кузнецова Е.И., Очеретяная Н.Н. Проблемы, связанные с уничтожением некачественных лекарственных препаратов // Сотрудничество для решения проблем с отходами: тезисы докладов конференции с международным участием. – X., 2009. – С. 221–229.
18. Прогнозно-аналитическая оценка распространения загрязнения за пределы шламонакопителей промышленных предприятий / С.В. Мещеряков, А.М. Гонопольский, С.В. Остах, О.С. Остах // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 10. – С. 22–27. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-10-22-27
19. Сахаров В.А., Мелкий В.А., Никонова Е.В. Оценка степени опасности возникновения неблагоприятной санитарно-эпидемиологической ситуации в водоносных горизонтах территории // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. – Т. 89, № 5. – С. 61–64.
20. Шевчук А.В. Эколого-экономические аспекты ликвидации накопленного ущерба в Арктической зоне Российской Федерации // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 80–83.
21. Фокин С.Г. Ликвидация накопленного экологического вреда окружающей среде в арктической зоне Российской Федерации // Сборник трудов Всероссийского научно-исследовательского института охраны окружающей среды за 2019. – М., 2019. – С. 37–42.
22. Measuring the sustainability of Russia's Arctic cities / R.W. Orttung, O. Anisimov, S. Badina, C. Burns, L. Cho, B. DiNapoli, M. Jull, M. Shaiman [et al.] // Ambio. – 2021. – Vol. 50, № 11. – P. 2090–2103. DOI: 10.1007/s13280-020-01395-9
23. 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.
24. Environmental Safety Aspects of Solid Residues Resulting from Acid Mine Drainage Neutralization with Fresh and Aged Red Mud / I. Smičiklas, M. Jović, M. Janković, S. Smiljanić, A. Onjia // Water Air Soil Pollut. – 2021. – Vol. 232, № 12. – P. 490. DOI: 10.1007/s11270-021-05442-3
25. Akinci A., Artir R. Characterization of trace elements and radionuclides and their risk assessment in red mud // Materials Characterization. – 2008. – Vol. 59, № 4. – P. 417–421. DOI: 10.1016/j.matchar.2007.02.008
26. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8, № 3. – P. 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
27. Ермаков Б.С. Теория нечетких множеств в принятии решений // Системный анализ и логистика. – 2014. – № 11. – С. 49–53.
28. Звягин Л.С., Макеичев Е.Д. Теория нечетких множеств и функция принадлежности // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2015. – Т. 2. – С. 144–149.
29. Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study / J.A. Salomon, J.A. Haagsma, A. Davis, C.M. de Noordhout, S. Polinder, A.H. Havelaar, A. Cassini, B. Devleesschauwer [et al.] // Lancet Glob. Health. – 2015. – Vol. 3, № 11. – P. e712–e723. DOI: 10.1016/S2214-109X(15)00069-8
30. Фишберн П.С. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
31. Medford A., Vaupel J.W. Human lifespan records are not remarkable but their durations are // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, № 3. – P. e0212345. DOI: 10.1371/journal.pone.0212345

32. Determinants of inequalities in life expectancy: an international comparative study of eight risk factors / J.P. Mackenbach, J.R. Valverde, M. Bopp, H. Brønnum-Hansen, P. Deboosere, R. Kalediene, K. Kovács, M. Leinsalu [et al.] // *Lancet Public Health*. – 2019. – Vol. 4, № 10. – P. e529–e537. DOI: 10.1016/S2468-2667 (19) 30147-1

33. Зайцева Н.В., Землянова М.А. Гигиеническая индикация последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов. – Пермь, 2011. – 532 с.

34. Научно-методические аспекты и практический опыт формирования доказательной базы причинения вреда здоровью населения в зоне влияния отходов прошлой экономической деятельности / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, С.С. Ханхареев, А.А. Болошинова // *Гигиена и санитария*. – 2017. – Т. 96, № 11. – С. 1038–1044. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044

35. 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.

К задаче оценки воздействия объектов накопленного вреда окружающей среде на здоровье граждан и продолжительность их жизни / Н.В. Зайцева, И.В. Май, С.В. Клейн, Д.А. Кирьянов, А.М. Андришунас, Н.Н. Слюсарь, Е.В. Максимова, М.Р. Камалтдинов // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.01

UDC 614.4

DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.01.eng



Research article

ON ASSESSING IMPACTS EXERTED BY OBJECTS OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE ON HUMAN HEALTH AND LIFE EXPECTANCY

**N.V. Zaitseva¹, I.V. May¹, S.V. Kleyn¹, D.A. Kiryanov¹, A.M. Andrishunas¹,
N.N. Sliusar², E.V. Maksimova¹, M.R. Kamaltdinov¹**

¹Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya Str., Perm, 6140045, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky Ave., Perm, 614990, Russian Federation

This research work is topical since there are a lot of objects of accumulated environmental damage (AED) in the Russian Federation and the task to eliminate them is fixed in the country legislation. These objects are typically brownfields, abandoned industrial building or constructions, abandoned waste disposal landfills etc. In accordance with the “General cleaning” Federal project we have developed methodical approaches to assessing impacts exerted by AED objects on human health and life expectancy. The aim of the methodology is to spot out priority objects which are to be eliminated as soon as possible.

© Zaitseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Andrishunas A.M., Sliusar N.N., Maksimova E.V., Kamaltdinov M.R., 2022

Nina V. Zaitseva – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

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

Svetlana V. Kleyn – Doctor of Medical Sciences, Head of the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: kleyn@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>).

Dmitrii A. Kiryanov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department for Mathematical Modeling of Systems and Processes (e-mail: kda@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961>).

Alena M. Andrishunas – Junior researcher at the Department for Systemic Procedures of Sanitary-Hygienic Analysis and Monitoring (e-mail: ama@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0072-5787>).

Natalia N. Sliusar – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Environmental Protection (e-mail: nnslyusar@gmail.com; tel.: +7 (342) 239-14-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0123-6907>).

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

Marat R. Kamaltdinov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior researcher acting as the Head of the Department for Situation Modeling and Expert and Analytical Management Techniques Laboratory (e-mail: kmr@fcrisk.ru; tel.: +7 (342) 237-18-04; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0969-9252>).

Fuzzy set theory is chosen as a basic method. A unified set of indicators (40 and more) has been developed for each type of AED objects; this set allows assessing how hazardous an object is for population health. The indicators are combined into several conditional groups: overall profile; climatic and spatial characteristics; geological and hydrological properties of a territory; indicators related to quality of the environment in a zone influenced by a specific object. We have used scales to grade a health hazard taking into account weight contributions made by specific indicators and a group of them to the total risk of health disorders. Impacts are assessed allowing for types and severity of potential functional disorders of critical organs and systems in the human body under exposure to contamination.

We suggest an algorithm and techniques for calculating risks of negative impacts. A scale with risk ranges (from 0 to 1) allows determining several risk rates including “low”, “moderate”, “average”, “high” and “extremely high” risk. An AED object is assigned into a risk category which corresponds to the maximum value of the membership function.

Impacts exerted by objects assigned into “high” and “extremely high” risk categories are to be assessed more profoundly and assessment should involve specific medical and biological examinations.

The methodology was tested successfully. The results proved that the selected approaches were relevant and that it was extremely important to collect complete and actual initial data of environment quality in zones influenced by AED objects.

In 2022 approximately 192 objects are to be assessed; the express-evaluation is to be accomplished by experts of the Federal Service for Surveillance over Consumer Rights Protection and Human Wellbeing. As per the evaluation results, all AED objects are to be ranked and those creating the highest health risks are to be detected. The latter are to be eliminated immediately and complete profound assessment is to be performed at them.

Key words: “General cleaning” Federal project, objects of accumulated environmental damage, population health, exposure assessment, algorithm and methodology.

References

1. Alykova O., Chuikova L., Chuikov Yu. Accumulated environmental damage: problems and consequences. Message 1. State registry of objects of accumulated environmental damage. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2021, vol. 62, no. 2, pp. 88–113. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-2-88-113 (in Russian).
2. Alykova O., Chuikova L., Chuikov Yu. Accumulated environmental damage: problems and consequences. Message 2. Analysis of the situation. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2021, vol. 62, no. 2, pp. 114–137. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-2-114-137 (in Russian).
3. Zinoviev D.S., Pichugin E.A., Cherepanov M.V. Main problems of the state register of accumulated environmental harmfuls. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2021, vol. 66, no. 6, pp. 108–114. DOI: 10.36698/2304-5957-2021-6-108-114 (in Russian).
4. Goldenman G. Opyt stran Evropeiskogo soyuza i stran Tsentral'noi i Vostochnoi Evropy v reshenii problem proshlogo ekologicheskogo ushcherba. Diskussionnyi doklad dlya Vsemirnogo banka [Experience of the European Union countries and the countries of Central and Eastern Europe in solving the problems of the ecological crisis. Discussion paper for the World Bank]. InEKA-konsalting LLC, 2006. Available at: [\(https://ineca.ru/?dr=projects&projects=social/pel/material&docname=opyt\(08.02.2022\)\)](https://ineca.ru/?dr=projects&projects=social/pel/material&docname=opyt(08.02.2022)) (in Russian).
5. Ledashcheva T.N., Chernyshev D.A. Analysis of international experience of cumulative environmental harm problem solution. *Naukovedenie*, 2014, vol. 25, no. 6, 12 p. DOI: 10.15862/83EVN614 (in Russian).
6. Pichugin E.A., Cherepanov M.V., Simakova E.V., Shenfeld B.E. Current issues of identification, accounting, categorization and elimination of the objects of accumulated environmental harm. *Problemy regional'noi ekologii*, 2021, no. 6, pp. 113–121. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-6-113-121 (in Russian).
7. 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).
8. Polyakov A.P., Sorokina E.G. Environmental situation as a factor of changes in state of health of population. *World Science: Problems And Innovations: sbornik statei pobeditelei V mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Penza, 2016, pp. 357–360 (in Russian).
9. Ivantsova E.A. Otsenka vozdeistviya likvidatsii tekhnogenogo massiva razmeshcheniya otkhodov proizvodstva i potrebleniya na atmosfernyi vozdukh [Assessment of the impact exerted by liquidation of the technogenic array of production and consumption waste disposal on the atmospheric air]. *Innovatsionnye tekhnologii zashchity okruzhayushchei sredy v sovremennom mire: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem molodykh uchenykh i spetsialistov*. Kazan, 2021, pp. 1363–1368 (in Russian).
10. Tenodi S., Krčmar D., Agbaba J., Zrnčić 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
11. El Fadili H., Ben Ali M., Touach N., El Mahi M., El Lotfi M. Ecotoxicological and pre-remedial risk assessment of heavy metals in municipal solid wastes dumpsite impacted soil in Morocco. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2021, vol. 17, pp. 100640.
12. Ojuri O.O., Ayodele F.O., Oluwatuyi O.E. Risk assessment and rehabilitation potential of a millennium city dumpsite in Sub-Saharan Africa. *Waste Manage.*, 2018, vol. 76, pp. 621–628. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.03.002
13. Ivanova Yu.S., Gorbachev V.N. Heavy metals pollution of soil under the influence of illegal dumping (health and environmental aspects). *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 119–124 (in Russian).
14. Berezin G.I., Kondakova L.V., Domracheva L.I., Dabakh E.V. Features of soil microbial groups in the area Kilmezhsky landfill dumping of toxic chemicals (Kirov region). *Printsipy ekologii*, 2016, vol. 18, no. 2, pp. 4–15 (in Russian).

15. Yang W., Cai C., Dai X. Interactions between virus surrogates and sewage sludge vary by viral analyte: recovery, persistence, and sorption. *Water Res.*, 2021, vol. 210, pp. 117995. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117995
16. Sakharov V.A., Morozova O.A., Vypryazhkin E.N., I K.H., Fayzulin D.R. The impact of landfill of solid waste on water bodies (on the example of a city dump in the city of Yuzhno-Sakhalinsk). *Uchenye zapiski Sakhalinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, vol. 11–12, no. 1, pp. 87–91 (in Russian).
17. Ostanina N.V., Kuznetsova E.I., Ocheretyanaya N.N. Problemy, svyazannye s unichtozheniem nekachestvennykh lekarstvennykh preparatov [Problems associated with the destruction of low-quality medicines]. *Sotrudnichestvo dlya resheniya problem s otkhodami: tezisy dokladov konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*, 2009, pp. 221–229 (in Russian).
18. Mescheriykov S., Gonopolsky A., Ostakh S., Ostakh O. Forecast and analytical assessment of the spread of pollution beyond the sludge accumulators of industrial enterprises. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2017, vol. 21, no. 10, pp. 22–27. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-10-22-27 (in Russian).
19. Sakharov V.A., Melkii V.A., Nikonova E.V. Otsenka stepeni opasnosti vozniknoveniya neblagopriyatnoi sanitarno-epidemiologicheskoi situatsii v vodonosnykh gorizontakh territorii [Assessment of the degree of danger caused by an unfavorable sanitary and epidemiological situation in water-bearing horizons on a given territory]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2008, vol. 89, no. 5, pp. 61–64 (in Russian).
20. Shevchuk A.V. Ecological-economic aspects of elimination of the accumulated damage in the arctic zone of the Russian Federation. *Prirodoobustroistvo*, 2013, no. 5, pp. 80–83 (in Russian).
21. Fokin S.G. The elimination of past environmental liabilities in the arctic zone of the Russian Federation. *Sbornik trudov Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta okhrany okruzhayushchei sredy za 2019*. Moscow, 2019, pp. 37–42 (in Russian).
22. Orttung R.W., Anisimov O., Badina S., Burns C., Cho L., Di Napoli B., Jull M., Shaiman M. [et al.]. Measuring the sustainability of Russia's Arctic cities. *Ambio*, 2021, vol. 50, no. 11, pp. 2090–2103. DOI: 10.1007/s13280-020-01395-9
23. Dregulo A.M. Distribution and specific activity of soil radionuclides in the soils of past environmental damage (for example of sewage sludge landfills). *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2018, no. 3, pp. 27–35 (in Russian).
24. Smičiklas I., Jović M., Janković M., Smiljanić S., Onjia A. Environmental Safety Aspects of Solid Residues Resulting from Acid Mine Drainage Neutralization with Fresh and Aged Red Mud. *Water Air Soil Pollut.*, 2021, vol. 232, no. 12, pp. 490. DOI: 10.1007/s11270-021-05442-3
25. Akinci A., Artir R. Characterization of trace elements and radionuclides and their risk assessment in red mud. *Materials Characterization*, 2008, vol. 59, no. 4, pp. 417–421. DOI: 10.1016/j.matchar.2007.02.008
26. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8, no. 3, pp. 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
27. Ermakov B.S. Teoriya nechetkikh mnozhestv v prinyatii reshenii [Fuzzy set theory in decision making]. *Sistemnyi analiz i logistika*, 2014, no. 11, pp. 49–53 (in Russian).
28. Zvyagin L.S., Makeichev E.D. Teoriya nechetkikh mnozhestv i funktsiya prinadlezhnosti [Fuzzy set theory and membership function]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam*, 2015, vol. 2, pp. 144–149 (in Russian).
29. Salomon J.A., Haagsma J.A., Davis A., de Noordhout C.M., Polinder S., Havelaar A.H., Cassini A., Devleeschauwer B. [et al.]. Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study. *Lancet Glob. Health*, 2015, vol. 3, no. 11, pp. e712–e723. DOI: 10.1016/S2214-109X(15)00069-8
30. Fishburn P.S. Utility theory for decision making. In: V.N. Vorob'eva, A.Ya. Kiruta translation. Moscow, Nauka, 1978, 352 p. (in Russian).
31. Medford A., Vaupel J.W. Human lifespan records are not remarkable but their durations are. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 3, pp. e0212345. DOI: 10.1371/journal.pone.0212345
32. Mackenbach J.P., Valverde J.R., Bopp M., Brønnum-Hansen H., Deboosere P., Kalédiene R., Kovács K., Leinsalu M. [et al.]. Determinants of inequalities in life expectancy: an international comparative study of eight risk factors. *Lancet Public Health*, 2019, vol. 4, no. 10, pp. e529–e537. DOI: 10.1016/S2468-2667(19)30147-1
33. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A. Gigienicheskaya indikatsiya posledstviy dlya zdorov'ya pri vneshnesredovoi ekspozitsii khimicheskikh faktorov [Hygienic indication of health consequences during environmental exposure to chemical factors]. Perm, 2011, 532 p. (in Russian).
34. Zaitseva N.V., May I.V., Klein S.V., Khankharev S.S., Boloshinova A.A. Scientific and methodological aspects and practical experience for the formation of the evidential base of hazard to health in the population in the zone of influence of waste from the past economic activity. *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 11, pp. 1038–1044. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-11-1038-1044 (in Russian).
35. Zaitseva 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).

Zaitseva N.V., May I.V., Kleyn S.V., Kiryanov D.A., Andrishunas A.M., Sliusar N.N., Maksimova E.V., Kamaltdinov M.R. On assessing impacts exerted by objects of accumulated environmental damage on human health and life expectancy. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 1, pp. 4–16. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.01.eng

Получена: 12.02.2022

Одобрена: 18.03.2022

Принята к публикации: 21.03.2022