

ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА

Л.П. Капелькина*, Т.В. Бардина

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

* Эл. почта: kapelkina@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.06.2023; принята к печати 17.08.2023

Ликвидация объектов накопленного вреда окружающей среде признана приоритетной государственной задачей. Многокомпонентный, неоднородный и неизвестный состав размещенных отходов обуславливает сложность проведения исследований. Основными факторами, влияющими на состояние объектов, являются состав и свойства размещенных отходов, природно-климатические условия местности, время нахождения отходов на открытом воздухе. Предварительным условием осуществления работ по ликвидации таких объектов является проведение исследований и инженерных изысканий по всестороннему изучению состава и свойств отходов и обеспечению экологической безопасности объектов. Методы исследования включают натурное (полевое) обследование местонахождения объектов и прилегающих участков, отбор и химический анализ проб, биотестирования. Признано, что проведение экотоксикологической оценки проб отходов на живых организмах разного уровня организации с помощью биотестирования позволит оценить степень негативного влияния отходов на окружающую среду, установить класс опасности отходов для разработки мероприятий по оптимизации техногенных ландшафтов. На примере размещенных на полигонах северо-запада РФ отходов проведен анализ экологической ситуации и химических свойств. В условиях промывного водного режима загрязняющие вещества, находящиеся в теле полигонов, на протяжении многих лет являются источниками повышенной опасности для окружающей среды. Даже после закрытия полигонов (проведения консервации/рекультивации) названные объекты могут представлять значительную потенциальную опасность вследствие высокой миграционной способности загрязняющих веществ и газообразования в теле объекта при разложении отдельных компонентов отходов. Эти факторы обуславливают нецелесообразность хозяйственного использования этих территорий в первые годы после окончания складирования отходов.

Ключевые слова: накопленный вред окружающей среде, объекты и методы исследований, полевое обследование, химический анализ, биотестирование.

APPROACHES TO EXAMINING OF OBJECTS OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE

L.P. Kapelkina*, T.V. Bardina

Saint-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

* Email: kapelkina@mail.ru

The elimination of objects of accumulated harm to the environment is recognized as a state priority task. The multicomponent, heterogeneous and unknown composition of the disposed waste makes it difficult to examine it. The main factors influencing the condition of the objects are the composition and properties of the disposed waste, the natural and climatic conditions of the area, and the time spent in the open air. A prerequisite for the implementation of works associated with the liquidation of such objects is research and engineering surveys carried out for comprehensive characterization of the composition and properties of waste and for ensuring the environmental safety of the objects. Research methods include full-scale (field) surveys of the location of objects and adjacent areas, sample collection and chemical analysis, and bioassays. It is acknowledged that the ecotoxicological assessment of waste samples with biotests using living organisms of different levels of organization must provide for assessing the degree of negative impacts of waste on the environment and for determining the hazard class of waste in order to develop measures for optimization of technogenic landscapes. Using waste disposed at landfills in the north-west of the Russian Federation as an example, an analysis of the environmental situation and the chemical properties of waste was carried out. Under washing water conditions, contaminants in landfill bodies were a source of increasing environmental hazard for many years. Even after the closure of landfills (conservation/recultivation), these objects may pose a significant potential threat because of the high migration potential of pollutants and gas formation in an object body during the decomposition of individual waste components. The inexpediency of the economic use of such territories in the first years after the end of waste storage is shown.

Keywords: accumulated environmental damage, objects and methods of research, field examination, chemical analysis, bioassay.

Введение

Согласно «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 г.»², ликвидация накопленного вреда окружающей среде (НВОС) признана приоритетной задачей. Правила организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 04.05.2018 № 542³. Организация этих работ включает проведение необходимых обследований объекта, в том числе инженерных изысканий.

Проблема устранения НВОС или накопленного экологического вреда (НЭВ) стоит на повестке дня в России длительное время, но до настоящего времени на государственном уровне есть сложности в решении этой проблемы. Реализация мер, направленных на восстановление территорий, находящихся в кризисном экологическом состоянии, включая государственную поддержку проведения работ по сокращению накопленного вреда, отнесена к числу важнейших задач государственной экологической политики, поскольку нарушенные и загрязненные в прошлом территории стали фактором сдерживания экономического роста, причиной снижения экологических рейтингов территорий и, как следствие, барьером для иностранных и отечественных инвестиций [2, 4]. Некоторые объекты НВОС представляют значительные риски для здоровья населения, проживающего на этих территориях или вблизи них⁴.

Понятия объектов НЭВ определены в ФЗ № 7 «Об охране окружающей среды», а необходимость проведения мероприятий по их рекультивации, консервации и ликвидации закреплена ФЗ № 446 от 30.12.2021 «О внесении изменений в ФЗ “Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты Российской Федерации”». В то же время работ по обобщению влияния различных объектов накопленного экологического вреда на окружающую среду, несмотря на широкое распространение таких объектов, сравнительно немного. В связи с этим возникает необходимость в подготовке положений и нормативных документов, которые явились бы основой для разработки общих подходов к проведению детальной оценки и прогнозированию экологического состояния этих специфических объектов, а также позволили бы разрабатывать мероприятия по улучшению состояния окружающей

среды, обеспечению экологической безопасности близлежащих территорий, решению вопросов переработки и утилизации отходов, консервации и рекультивации земель, занятых отходами.

При проведении исследований авторы исходили из следующего определения НЭВ:

– экологический вред – состояние природных объектов, которое характеризуется их загрязнением, превышающим нормативы качества экологической безопасности и препятствующим использованию этих объектов (территорий) по целевому назначению;

– накопленный экологический вред – это обусловленное прошлой многолетней хозяйственной деятельностью изменение природно-хозяйственной среды, которое оценивается состоянием объектов НЭВ, геохимическими и санитарно-экологическими показателями, концентрацией загрязняющих веществ (ЗВ) в компонентах среды, результатами биотестирования проб.

Цель исследований – сформулировать подходы к исследованию объектов НЭВ для определения их экологического состояния и последующего принятия решений по реабилитации техногенных территорий. Изучение объектов направлено, прежде всего, на поиск параметров, характеризующих качество природной среды, которое осуществляется как полевыми, так и лабораторными методами. Разработка научно-методических основ обследования объектов НЭВ и апробированных способов реализации проблемы необходимы как для оценки уровня негативного воздействия, так и с позиций подбора адекватных инженерно-экологических мероприятий по их устранению.

Актуальность и необходимость проблемы устранения накопленного экологического вреда для обеспечения экологической безопасности административно-территориальных образований признана приоритетной как с позиций научных исследований, так и практики управления охраной окружающей среды в регионах.

Объекты, методы и результаты исследований

Объектами нашего исследования были преимущественно полигоны и свалки, расположенные в северо-западном регионе России.

Выбор ЗВ для оценки состояния объектов определяется с учетом отраслевого образования отходов, их вида, степени токсичности для живых организмов и окружающей среды, а очередность проведения природоохранных мероприятий определяется степенью ущерба, наносимого окружающей среде, наличием средств и возможностей для ликвидации нарушений. В то же время следует отметить, что многофакторность воздействия разных видов отходов и направлений их влияния на различные по устойчивости к

² Указ президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 года № 176 «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 4 мая 2018 года № 542 (с изменениями на 25 декабря 2019 года) «Об утверждении Правил организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде».

⁴ ГОСТ Р 54003-2010. Экологический менеджмент. Оценка прошлого, накопленного в местах дислокации организаций, экологического ущерба. Общие положения.

техногенному воздействию экосистемы затрудняет выявление четких закономерностей в процессах взаимодействия загрязняющих веществ с компонентами окружающей среды и выяснение количественных оценок трансформации почв, миграции ЗВ и состояния водных источников. Если при попадании ЗВ в атмосферный воздух или в воду происходит разбавление выбрасываемых концентраций, то в почвах, наоборот, со временем происходит их накопление. На рис. 1 представлена схема техногенного воздействия на земли без относительной привязки к конкретным объектам.

Техногенное воздействие на земли может быть химическим и механическим (здесь мы не касаемся теплового, радиоактивного и иных менее распространенных видов воздействия). Со временем происходит трансформация ЗВ в окружающей среде. Загрязнение земель при химическом воздействии может уменьшаться. Например, при разливе нефти происходит испарение легких фракций нефти в первые недели, и степень загрязнения постепенно снижается. При эксплуатации металлургического предприятия в почве, наоборот, происходит постепенное накопление загрязняющих веществ, и степень загрязнения увеличивается.

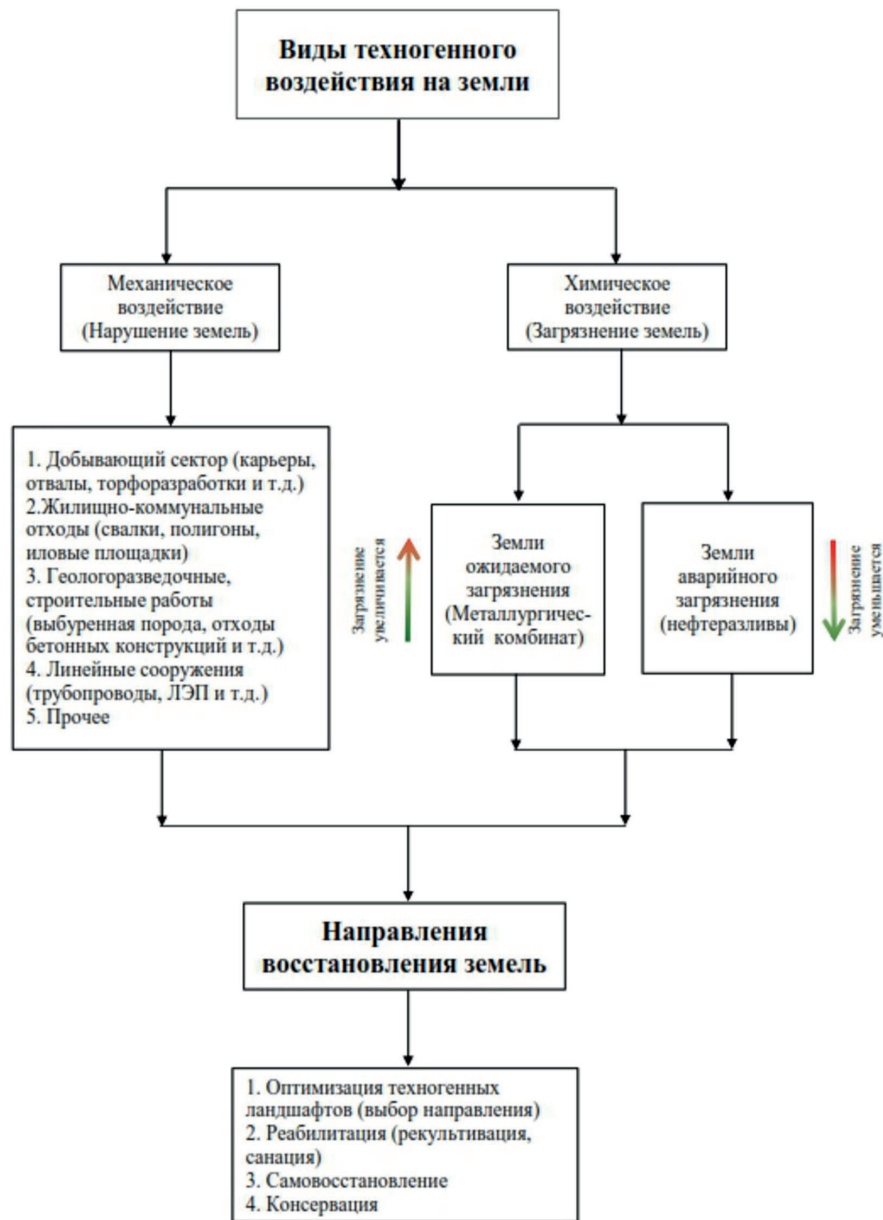


Рис. 1. Техногенное воздействие на земли

Следует отметить, что четкого разграничения между механическим и химическим воздействием на землю может и не быть. Если складирование осадков сточных вод на иловых площадках, а твердых коммунальных отходов на полигонах и свалках поначалу связано с земельным отводом и механическим воздействием на почвы (размещение отходов, устройство подъездных дорог), то со временем, вследствие минерализации отходов и миграции водорастворимых соединений и химических элементов, наблюдается загрязнение и значительное отрицательное влияние на компоненты экосистем, таких как почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух. Земли отводятся под линейные сооружения, в частности транспорт нефти и нефтепродуктов (механическое воздействие), а фиксируемые в некоторых случаях аварийные ситуации и несанкционированные врезки в трубопроводы обуславливают разливы нефтепродуктов и химическое загрязнение почв.

Таким образом, в реальной жизни приходится сталкиваться с комплексным воздействием на экосистемы, включая механическое, химическое и иное воздействие. Длительное размещение отходов производства и потребления, их накопление и миграция ЗВ в компоненты природной среды обуславливают появление объектов накопленного экологического вреда.

Все отходы в своем развитии и преобразовании проходят ряд стадий. Состояние объектов накопленного экологического вреда определяется тремя основными факторами: составом и свойствами размещенных отходов, природно-климатическими условиями местности и временем (сроком) размещения отходов, находящихся на открытом воздухе. Методы проведения исследований, используемых нами, включали натурную идентификацию различных типов объектов НЭВ, химико-аналитическую оценку локальных и миграционных воздействий и методы биотестирования проб, отобранных на объектах (рис. 2). Предварительно изучались официальные фондовые материалы.

Территория Северо-Запада РФ, где проводились наши исследования, интенсивно подвергалась хозяйственному освоению в последнее столетие. Для региона характерен широкий набор разно-ранговых природно-хозяйственных систем. Во второй половине XX века здесь сформировались многочисленные типы объектов НЭВ. При этом большая часть этих объектов, возникших до 90-х годов, имеет статус государственной собственности. Рецессия промышленного производства в период 1992–1999 годов вызвала появление множества таких объектов и территорий с высокими показателями различных загрязнений, на основе которых сформировались широко распространенные пространственные очаги накопленного вреда окружающей среде.



Рис. 2. Факторы, влияющие на состояние объектов НЭВ, и методы их исследования

Специфические физико-географические условия региона (равнина, сложный гидрогеологический разрез моренных покровных отложений, гумидный климат) и длительный период воздействия (до 100 лет) составляют основной фон для геоэкологических оценок многовариантных изменений всех компонентов окружающей среды. Хозяйственная деятельность осуществлялась предприятиями, на которых эксплуатировались упрощенные технологические схемы производства. Ориентация большей части предприятий на разделение основных фондов привела к тому, что они не могли поддерживать функционирование природоохранных систем (оборотного водоснабжения, очистных сооружений, безопасного обращения с отходами и пр.). Оценить количественно вклад этих структурных изменений в рост объектов НЭВ не представляется возможным, но он был значительным.

Полевая инвентаризация участков НЭВ показала целесообразность анализа как современного состояния объектов, так и предыдущего периода хозяйственного освоения биогеоценотического покрова граничных территорий. Последнее обеспечивает корректную оценку эколого-экономического статуса и формы ликвидации существующего загрязнения (консервация, рекультивация, оптимизация техногенного ландшафта, компенсационные выплаты по нанесенным ущербам), а также потенциальный экологический риск негативного воздействия на окружающую среду в пострекультивационный период.

В наших исследованиях основное внимание было уделено, прежде всего, оценке экологического состояния полигонов с различными видами размещенных отходов: промышленных, строительных, бытовых в связи с их повсеместным распространением. Проблемы проектирования, эксплуатации, рекультивации и закрытия полигонов решаются в настоящее время на основе относительно недавно вышедшего нормативного документа: ГОСТ Р 56598-2015⁵. Проведение работ по восстановлению территорий, занятых объектами НЭВ, обуславливает необходимость проведения всесторонних исследований. Многокомпонентный, неоднородный и неизвестный состав размещенных отходов определяет необходимость проведения большого числа анализов и широкого круга исследований. Размещенные на полигонах отходы могут содержать в своем составе десятки и сотни химических элементов, различных соединений, органических загрязняющих веществ.

Состав и свойства размещенных отходов

С момента размещения промышленных, строительных и бытовых отходов на полигонах осадка сточных

⁵ ГОСТ Р 56598-2015. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Общие требования к полигонам для захоронения отходов.

вод на иловых площадках, выноса вскрышных и/или вмещающих горных пород на поверхность из глубины в районах разработки месторождений полезных ископаемых начинаются процессы преобразования этих субстратов.

Исходный субстрат в каждом конкретном случае, проходя ряд стадий преобразования, приобретает признаки окружающих природных экосистем, например, природных зональных почв, зональной растительности. Однако специфичный состав отходов на ряде объектов, отличающийся от природных почв: избыточная кислотность или щелочность, значительная засоленность, наличие токсичных элементов и соединений в больших количествах, рельеф участка и т. п. – существенно влияет на формирующиеся новые экосистемы, определяя поселение и развитие наиболее адаптированных видов пионерных растений, формирование примитивных почв. Существенное значение имеет такой показатель, как растворимость присутствующих в отходах элементов и соединений, их миграционная способность.

Природно-климатические условия местности

Такие особенности, как сухость (аридность) климата или, наоборот, влажность (гумидность), обуславливают возможность различий в протекании процессов. Количество и характер выпадающих осадков, промывной, непромывной или иной тип водного режима, относительно плоский или пересеченный рельеф местности, крутизна откосов отвалов с размещенными отходами и другие факторы обуславливают различную скорость трансформации свойств отходов.

Ветровой режим может играть двоякую роль, обуславливая перенос пыли и загрязняющих веществ на значительное расстояние от источника их образования (отрицательное влияние), одновременно способствует переносу семян растений ветровым потоком от естественных участков и самозаращению нарушенных участков (положительное влияние).

Сложившийся рельеф, образовавшийся при складировании отходов, существенным образом влияет на дальность распространения ЗВ и площадь загрязнения, обуславливая перенос растворимых соединений на значительные расстояния от мест складирования отходов.

Количество выпадающих осадков, их испаряемость и температура воздуха являются основными параметрами, характеризующими климатические особенности в различных регионах страны. В условиях Северо-Запада, в частности – Ленинградской области, количество осадков значительно превышает величину испаряемости. В этой климатической зоне преобладает водный режим промывного типа. При таком типе водного режима в ходе весеннего снеготаяния,

при осенних дождях, а в случае значительных атмосферных осадков и в летнее время вся толща отходов пропитывается водой. Превышение выпадающих атмосферных осадков над испарением способствует миграции загрязняющих веществ вниз по профилю и загрязнению поверхностных, грунтовых и подземных вод. Вынос растворимых соединений происходит не только с глубинным стоком, но и через боковой сток. Уровень грунтовых вод в условиях северо-запада из-за обилия выпадающих осадков и ограниченной возможности их испарения находится относительно близко к поверхности.

В таких условиях применительно, например, к полигону отходов с размещенными органическими и минеральными отходами, куда имеется доступ воздуха, можно констатировать следующее. Большое количество выпадающих осадков будет способствовать проникновению влаги в тело полигона. В условиях достаточной или избыточной влажности органическая часть отходов в верхних слоях захороненных отходов, куда имеется доступ воздуха, будет разлагаться по аэробному типу (метановое брожение). Растворимые формы минеральных и органических веществ могут проникать с влагой все глубже и глубже, вызывая загрязнение подземных вод, все большее со временем по мере гидролиза веществ. При обилии осадков объекты НЭВ с размещенными минеральными и органическими отходами относятся к объектам повышенной опасности, поскольку на протяжении ряда лет являются местом газообразования и отрицательного влияния на прилегающие экосистемы загрязненных вод вследствие их миграции. Скорость протекающих изменений определяется не только составом и свойствами самих отходов, природно-климатическими условиями местности, но и сроком размещения отходов.

Время нахождения отходов на открытом воздухе

Наряду с составом и свойствами отходов и природно-климатическими условиями местности, существенным образом влияют как на сами отходы, так и состояние прилегающих экосистем растительность, другие живые организмы, почвы, состояние атмосферного воздуха. Со временем происходит окисление, выщелачивание, деградация и миграция загрязняющих веществ, синтез новых веществ в результате взаимодействия растворимых соединений, изменение токсичности (снижение или увеличение). Нарушенная система стремится к исходному состоянию. Но этот процесс длителен, иногда занимает десятки лет, и этот фактор влияет на возможность и сроки целевого использования земель, занятых объектами НЭВ.

Таким образом, скорость и направленность изменений отходов обуславливаются комплексом факторов: составом и свойствами размещенных отходов, при-

родно-климатическими условиями местности, в которой они расположены, временем (длительностью) нахождения их на поверхности. Эти факторы в совокупности влияют на процессы, протекающие в отходах, и в конечном счете определяют все многообразие состояний техногенных экосистем на объектах НЭВ, степень их опасности.

Оценка состояния объекта НЭВ должна начинаться с полевого обследования участка и прилегающей территории.

Полевое обследование

Полевое обследование объекта накопленного экологического вреда основывается на визуальной оценке и проводится с целью определить реальное состояние объекта. Предварительно уточняются в фондовых муниципальных материалах сведения об образовании полигона, уточняются виды складированных в прошлом отходов (бытовые, промышленные, строительные), возможная степень их отрицательного влияния на окружающую среду.

В полевых условиях оценивается общее состояние растительного покрова (при его наличии), устанавливается проективное покрытие (фрагментарное или сплошное, процент покрытия), фиксируются изменения природной среды, прежде всего биоты, появление отклонений от нормального обычного состояния, устанавливаются виды древесных, кустарниковых и травянистых растений, естественно поселившихся на отвалах, фиксируются изменения в их морфологическом состоянии, учитывается биопродуктивность на разных участках.

Важными факторами жизнестойкости растений являются природно-климатические условия и биологические особенности самих растений. В основе же различного состояния фитоценозов в пределах одного объекта лежат, прежде всего, различия в эдафических (почвенных) показателях, обеспечивающих появление и биологическую устойчивость растений на одних участках и их отсутствие или гибель – на других. Плохой рост и развитие растений на отвалах отходов могут быть обусловлены не только токсичностью субстрата, его засолением, низкими или высокими значениями pH, высоким уровнем содержания токсичных органических соединений и тяжелых металлов, но и неблагоприятным гранулометрическим составом почвогрунтов, их каменистостью, значительной плотностью, затрудняющей проникновение корней растений в глуболежащие горизонты. При обследовании важно учитывать рельеф участка, наличие и состояние водных источников (около дренажные и фильтратные канавы) как на самом объекте, так и на прилегающей территории.

При полевом обследовании производится отбор жидких и твердых проб, в том числе донных отложе-

ний, для последующих лабораторных исследований: химического анализа и экотоксикологической оценки.

Химический анализ проб

Традиционное изучение состояния природной среды обычно основывается на количественном определении содержания загрязняющих веществ и сравнении полученных результатов с предельно допустимыми (ПДК) и ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) загрязняющих веществ в природных средах: почве, воде, атмосферном воздухе⁶. Однако показатели ПДК и ОДК разработаны и утверждены для ограниченного количества ЗВ. В этом случае состояние объекта, степень его отклонения от нормы следует оценивать путем сравнения полученных показателей по анализу проб с фоновыми показателями содержания ЗВ в пробах почв, грунтов, природной воды, отобранных вне зоны влияния объекта НЭВ.

Следует отметить, что многокомпонентный, непостоянный и неизвестный состав отходов обуславливает необходимость проведения большого количества анализов. При этом существует некая неопределенность в изучении размещенных отходов и выборе элементов и соединений для анализа. Так, например, при выяснении уровня загрязнения и определении содержания химических элементов и органических соединений в отходах можно определить десятки химических элементов и даже сотни загрязняющих веществ, но основным загрязнителем может оказаться тот элемент или те соединения, которые не определялись в анализируемой пробе, но которые обуславливают токсичность среды в конечном счете. Загрязняющие вещества, например тяжелые металлы, органические соединения, несмотря на наличие их в количествах, превышающих ПДК и ОДК, могут находиться в природной среде в различных формах, различающихся по миграционной способности. В этом случае их отрицательное влияние или относительная безопасность определяются не валовыми формами содержания металлов и соединений, а их подвижными формами, способностью образовывать менее или более токсичные соединения в результате взаимодействия присутствующих веществ.

Установлено, что ни один отдельно взятый фактор воздействия не позволяет оценить полностью экологическую ситуацию на локальной территории (муниципальное поселение, локальный водосборный бассейн), поскольку его эффект во многом зависит от устойчивости экосистем к индивидуальным особенностям этих воздействий. Дополнительную трудность создает неустойчивый, динамический характер

пространственной локализации техногенных загрязнений от объектов НЭВ. Современное состояние компонентов природных сред в районах накопленного экологического вреда отражает многолетнюю историческую трансформацию природно-территориальных комплексов. На исследуемых нами территориях проявились специфические условия, способствующие возникновению разнообразных по типологии объектов НЭВ.

Поэтому в последние годы наряду с оценкой состояния природной среды, основанной на методах полевого обследования объектов НЭВ и химического анализа проб, отобранных на локальных участках в зонах размещения отходов, широкое применение находят методы биотестирования проб.

Биотестирование

Многокомпонентность и неизвестность полного химического состава отходов, находящихся в объектах НЭВ, ограниченное число разработанных и утвержденных ПДК и ОДК тяжелых металлов и химических соединений в компонентах природной среды, большие затраты времени, труда и средств на осуществление химических анализов предопределяют необходимость поиска и использования дополнительных альтернативных методов оценки состояния этих объектов.

Биотестирование – процедура установления токсичности среды с помощью тест-культур, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-культур. Благодаря простоте, оперативности и доступности биотестирование получило широкое признание во всем мире, и его все чаще используют наряду с методами аналитической химии. Оно включено в систему контроля природной среды на основе нормативного документа «Критерии отнесения отходов к классам...»⁷

В настоящее время биотестирование считается одним из наиболее эффективных методов интегральной оценки токсичности загрязненных почв, почвогрунтов, отходов, донных отложений, различных вод (сточных, дренажных, природных), где могут накапливаться различные токсичные вещества (тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды и другие ЗВ). Результаты исследований по биотестированию различных отходов и загрязненных природных сред освещены во многих научных публикациях, как отечественных, так и зарубежных [3, 5–9].

Исследования, проведенные нами на разных объектах НЭВ, показали, что методы биотестирования с использованием различных тест-культур, являются

⁶ СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к безопасности и/или безвредности для человека факторов среды обитания.

⁷ Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536. Критерии отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду.

достаточно чувствительными, и с их помощью можно обнаружить интегральную токсичность проб, отобранных на этих объектах [1]. При проведении биотестирования с учетом различной чувствительности тест-культур к ЗВ нами использовались гидробионты (дафнии, водоросли, хирономиды, икринки аквариумных рыб, инфузории); высшие растения (семена овса посевного, пшеницы мягкой, клевера лугового и других видов), а также млекопитающие (мыши, крысы). Биотестирование на дафниях, водорослях, инфузориях, семенах высших растений проводилось в испытательной аналитической лаборатории НИЦЭБ РАН СПб ФИЦ РАН (Аттестат аккредитации RA.RU.21HC58) с использованием аттестованных методик элюатного и контактного биотестирования^{8, 9, 10, 11, 12}. Биотестирование на икринках аквариумных рыб проводилось согласно методике № 695, утвержденной Росрыболовством¹³.

Установлено, что ни один вид не является универсальным индикатором для оценки состояния природной среды в целом, предпочтительна серия биотестов. Оценка токсичности пробы при использовании нескольких тест-культур осуществляется по наиболее чувствительному варианту. Выявлено, что один и тот же отход может быть отнесен к различным классам опасности по результатам биотестирования. Установлено, что методы контактного фитотестирования часто оказываются более чувствительными к ЗВ, присутствующим в объектах НЭВ, и поэтому должны быть включены в оценку экологического состояния объектов.

⁸ МР 2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора; 2008.

⁹ ПНД ФТ 14.1:2:3:4.12-06 Т 16.1:2:2:2.3:3.9-06. Методика измерений количества *Daphni magna Straus* для определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, донных отложений, отходов производства и потребления методом прямого счета.

¹⁰ ПНД ФТ 14.1:2:3:4.10-04 Т 16.1:2:2:2.3:3.7-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлореллы *Chlorella vulgaris Beijer* для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, донных отложений, осадков сточных вод, отходов производства и потребления.

¹¹ ПНД ФТ 14.1:2:3:4.2-98 (ред. 2015) ФР 1.39.2015.19242. Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер».

¹² ФР 1.39.2006.02264. СПб., 2009. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв.

¹³ Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утв. Росрыболовством № 695 от 04.08.2009 (с изменениями от 22.13.2016).

Проведенные нами исследования показали, что на объектах накопленного вреда окружающей среде при сложном составе размещенных отходов, методы биотестирования проб должны быть обязательными и приоритетными видами анализа, позволяющими оценить экологическое состояние объекта. Это положение нуждается во включении в соответствующие нормативные документы.

Заключение

Актуальность проблемы идентификации и устранения накопленного в прошлом экологического вреда как элемента обеспечения экологической безопасности административно-территориальных образований признана приоритетной как с позиций научных исследований, так и практики управления охраной окружающей среды в России и за рубежом. Комплексная оценка состояния объектов НЭВ является необходимым условием для установления правильности и полноты намечаемых реабилитационных мероприятий.

Полевое обследование ряда объектов НЭВ, химический анализ отобранных проб и проведенное биотестирование на живых организмах разного уровня организации позволяют оценить степень негативного влияния отходов на окружающую среду, установить класс опасности отходов, наметить мероприятия по оптимизации техногенных ландшафтов и целевому использованию земель.

Анализ экологической ситуации и химических свойств складированных на полигоны отходов, проведение биотестирования проб показали нецелесообразность хозяйственного использования этих территорий в первые годы после окончания складирования отходов. На Северо-Западе РФ в условиях промывного водного режима загрязняющие вещества, находящиеся в теле полигонов, на протяжении многих лет являются источником повышенной опасности для окружающей среды и даже после закрытия (проведения консервации/рекультивации) названные объекты могут представлять значительную потенциальную опасность загрязнения окружающей среды вследствие высокой миграции загрязняющих веществ и газообразования в теле объекта при разложении отдельных компонентов отходов.

Несомненно, наиболее важным направлением является поиск направлений и технологий по переработке и утилизации отходов. Это позволит сократить площади земель, отводимых под их складирование, а проведение рекультивации земель на отвалах отходов – вернуть в производственный процесс утраченные земли.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FFZF-2022-0014.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Бардина ТВ, Чугунова МВ, Кулибаба ВВ, Бардина ВИ. Оценка экологического состояния почвогрунтов рекультивированного карьера с использованием методов биотестирования. *Биосфера*. 2020;12:1-11. <http://21bs.ru/index.php/bio/article/view/539>.
2. Питулько ВМ, Кулибаба ВВ. Реновация природных систем и ликвидация объектов прошлого экологического ущерба. М: ИНФРА-М; 2017.
3. Олькова АС. Актуальные направления развития методологии биотестирования водных сред. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2018;2:40-50. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.2.40-50.
4. Соловьянов АА, Чернин СЯ. Ликвидация накопленного вреда окружающей среде в Российской Федерации. М.: Наука; 2017.
5. Терехова ВА. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор). *Почвоведение*. 2022;(5):1-14.
3. Olkova AS. [Current trends in the development of the methodology of bioassay aquatic environments]. *Voda i Ekologiya Problemy i Resheniya*. 2018;2:40-50. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.2.40-50. (In Russ.)
4. Solovyanov AA, Chernin SYa. *Likvidatsiya Nakoplenного Vreda Okruzhayushey Srede v Rossiyskoy Federatsii*. [Elimination of Accumulated Harm to the Environment in the Russian Federation]. Moscow: Nauka; 2017. (In Russ.)
5. Terekhova VA. [Biotesting of soil ecotoxicity under chemical pollution: modern approaches to integration for assessing the ecological state (review)]. *Pochvovedeniye*. 2022;(5):1-14. (In Russ.)
6. Bardina TV, Chugunova MV, Kulibaba VV, Polyak YM, Bardina VI, Kapelkina LP. Applying bioassay methods for ecological assessment of the soils from the brownfield sites. *Water Air Soil Pollut*. 2017;228:351. DOI: 10.1007/s11270-017-3521-3.
7. Hagner M, Romantschuk M, Penttinen OP, Egfors A, Marchand C, Augustsson A. Assessing toxicity of metal contaminated soil from glassworks sites with a battery of biotests. *Sci Total Environ*. 2018;613:30-8. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.121.
8. Matejczyk M, Grazyn AP, Nalecz-Jawecki G, Ulfig K, Markowska-Szczupak A. 2011. Estimation of the environmental risk posed by landfills using chemical, microbiological and ecotoxicological testing of leachates. *Chemosphere*. 82:1017-23. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.10.066.
9. Nyholm N, Källqvist T. Methods for growth inhibition toxicity tests with freshwater algae. *Environ Toxicol Chem*. 1989;8:689-703. DOI: 10.1002/etc.5620080807.

Общий список литературы/References

1. Bardina TV, Chugunova MV, Kulibaba VV, Bardina VI. [The use of biological testing approaches to assessing the ecological conditions of soils in a reclaimed surface mine]. *Biosfera*. 2020;12:1-11. <http://21bs.ru/index.php/bio/article/view/539>. (In Russ.)
2. Pitulko VM, Kulibaba VV. *Renovatsiya Prirodnykh Sistem i Likvidatsiya Obyektov Proshlogo Ekologicheskogo Uscherba*. [Renovation of Natural Systems and Elimination of Objects of Past Environmental Damage]. Moscow: INFRA-M; 2017. (In Russ.)