

УДК 502.52

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-54-61

Методические аспекты оценки состояния локальных природно-технических систем на основе результатов экологического мониторинга

М. М. Горохов, доктор физико-математических наук, профессор,
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. А. Корепанов, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

П. М. Кургузкин, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Рассмотрено понятие природно-технической системы, как совокупности техногенных и природных объектов, расположенных на единой территории. Экологическая безопасность природно-технической системы обеспечивается за счет ограничения негативного воздействия на окружающую среду со стороны техногенного объекта. Отмечено, что нормирование негативного воздействия является необходимым, но недостаточным условием экологической безопасности, поскольку ориентировано прежде всего на выполнение санитарно-гигиенических норм применительно к условиям проживания или трудовой деятельности людей на территории природно-технической системы. Использование санитарно-гигиенических предельно допустимых концентраций при оценке трансформации объектов окружающей природной среды малоинформативно. Отмечено, что в условиях штатного функционирования техногенного объекта информационной основой оценки негативных изменений в окружающей среде являются результаты экологического мониторинга. Системы экологического мониторинга наиболее разработаны для особо опасных производственных объектов в части организации получения количественных данных о загрязнении окружающей среды. В недостаточной степени рассмотрены вопросы количественной оценки экологического состояния территории. Используемые показатели в виде агрегированных индексов также ориентированы на санитарно-гигиенические нормативы. Кроме того, их информативность снижается вследствие взаимной корреляции используемых при расчете показателей концентраций загрязняющих веществ. Отмечено, что объекты растительного и животного мира являются более чувствительными к негативному воздействию, поэтому наряду с количественным химическим анализом загрязнения территории проводится мониторинг биотической составляющей окружающей среды. Вместе с тем данные биомониторинга рассматриваются как самостоятельные результаты. Связь между общей функцией желательности при оценке состояния биоценозов и другими характеристиками территории, включая ее загрязнение, как правило, не изучается, что также снижает их информационную ценность. На основании анализа рассмотренных материалов сделан вывод о том, что для информативной оценки и прогноза экологического состояния природно-технической системы требуется разработка интегральных показателей биотической и абиотической составляющих окружающей среды в их взаимосвязи.

Ключевые слова: природно-техническая система, экологическая безопасность, нормирование негативного воздействия, экологический мониторинг и оценка загрязнения, предельно допустимая концентрация, биомониторинг, функция желательности, интегральный показатель загрязнения.

Введение

Понятие природно-технической системы сформировалось более полувека назад как признание факта тотальной антропогенной и техногенной трансформации исходных экосистем на значительных территориях. Согласно [1] природно-техническая система (ПТС) представляет собой природный комплекс, в пределах которого размещены искусственные объекты, созданные в результате выполнения строительных и других инженерных работ. В монографии [2] отмечается, что в настоящее время идет процесс трансформации оставшихся исходных экосистем в природно-технические системы, которые, в свою очередь, становятся структурными эле-

ментами (ячейками) биотехносферы. Действительно, размещение любого объекта хозяйственной и иной деятельности автоматически переводит исходную природную территорию в природно-техническую. Экологическая энциклопедия [3] определяет ПТС как ассоциацию природных и техногенных элементов, функционирующих совместно. При этом искусственные и природные элементы в составе ПТС взаимодействуют между собой, не образуя целостной энергетически и физически взаимосвязанной системы. Вместе с тем результатом взаимодействия техногенной и природной составляющих ПТС в конечном счете является достижение некоего квазиравновесного состояния, которое,

как правило, связано с ухудшением качества окружающей природной среды.

В соответствии с принципом презумпции потенциальной экологической опасности любой намечаемой хозяйственной и иной деятельности (Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Об экологической экспертизе») техногенный объект в процессе своего функционирования всегда оказывает негативное воздействие на окружающую природную среду. Следствием этого воздействия может быть нарушение гомеостаза исходных экосистем, а в худшем случае – их полная деградация. При подобном исходе установившееся квазиравновесие может характеризоваться такими параметрами окружающей среды, которые являются опасными не только для представителей растительного и животного мира, но и нарушают условия экологически безопасного проживания и трудовой деятельности населения, находящегося в пределах ПТС.

Исчерпание потенциала самовосстановления экосистемы требует внешнего вмешательства с целью обеспечения экологической безопасности территории.

На стадии проектирования техногенного объекта (ТО) экологическая безопасность ПТС в целом обеспечивается проектными решениями и последующей экологической экспертизой (Федеральный закон от 23.11.1995 № 174-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Об экологической экспертизе») проектной документации. На следующих стадиях (строительство и эксплуатация) функционирования техногенных объектов осуществляется нормирование негативных воздействий на окружающую среду (Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»). В процессе нормирования устанавливаются предельные для объекта объемы (параметры) выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросов в водные объекты, объемы образования и размещения отходов [4–7]. Соблюдение этих нормативов является предметом экологического контроля со стороны государства.

Нормирование негативного воздействия является необходимым, но далеко не достаточным условием экологической безопасности ПТС. Достаточно указать, что нормативы загрязнения атмосферного воздуха и водных объектов основаны на рассеивании и разбавлении вредных примесей в окружающей среде и лишь ограничивают уровни ее загрязнения, не исключая его в принципе. Кроме того, предельно допустимые концентрации (ПДК), лежащие в основе нормирования, в большинстве своем имеют санитар-

но-гигиеническое происхождение, то есть ориентированы на человека, не всегда являющегося самым чувствительным элементом биосферы.

В подобной ситуации становятся востребованными методы анализа и прогноза негативных изменений в окружающей среде на ранней стадии их проявления с целью коррекции основных параметров ТО или ПТС в целом. Необходимость перехода от парадигмы «следить и корректировать» к парадигме «прогнозировать и предотвращать» требует построения достоверных оценок состояния окружающей среды и динамики ее изменения.

Особое значение проблема обеспечения экологической безопасности имеет для ПТС, техногенной составляющей которых являются промышленные объекты повышенной опасности. В экологическом контексте повышенная или особая опасность техногенного объекта означает потенциальную возможность выделения в окружающую среду значительного количества загрязняющих веществ высокого класса опасности в короткий промежуток времени при возникновении нештатных или аварийных ситуаций.

Примерами подобных промышленных объектов, формирующих локальные ПТС, являются атомные электростанции, объекты по уничтожению вооружений и военной техники, боевых отравляющих веществ, особо опасных отходов и т. д.

Следует отметить, что термин «локальная ПТС» является более предпочтительным по сравнению с «элементарной ПТС» [8], поскольку техногенные объекты, приведенные выше в качестве примеров, сами могут рассматриваться как отдельные сложные системы.

Исходная информация для анализа негативного воздействия в процессе функционирования ТО и прогноза его последствий может быть получена исключительно в рамках специально организованного экологического мониторинга. Экологический мониторинг входит в состав послепроектного анализа [9, 10], а его результаты являются информационной основой для планирования мероприятий по обеспечению экологической безопасности.

В отличие от нормирования негативных воздействий на окружающую среду процесс формирования систем экологического мониторинга (СЭМ) полностью не формализован и характеризуется меньшей нормативной и методической обеспеченностью. Подобная ситуация объясняется необходимостью учета особенностей конкретной ПТС. Как правило, формирование СЭМ осуществляется в процессе индивидуального

проектирования и формализовано лишь в части требований общего характера. Примером индивидуального подхода к экологическому мониторингу в зоне влияния ТО повышенной опасности является СЭМ объектов по уничтожению химического оружия (ОУХО) [11]. Подобные предприятия помимо всего прочего являются объектами пристального внимания населения и экологической общественности, поэтому к информативности и достоверности результатов экологического мониторинга предъявляются повышенные требования.

Опыт эксплуатации объектов по уничтожению химического оружия в Удмуртской Республике и других субъектах Российской Федерации показал, что в триаде «наблюдение – оценка – прогноз», определяющей функционал экологического мониторинга, наиболее разработанным и практически апробированным является первый этап. В работах [12, 13] приведено научно-методическое обоснование таких важнейших элементов и параметров СЭМ ОУХО, как перечни контролируемых в природных средах веществ, размещение точек пробоотбора на местности и их количество, периодичность пробоотбора. Применительно к указанным объектам обоснованы также методы биологического мониторинга, включающего в себя биоиндикацию и биотестирование [14, 15]. Использование этих методов позволяет получить интегральную информацию для анализа возможного влияния ТО на объекты растительного и животного мира.

Таким образом, на сегодняшний день достаточно хорошо разработаны методы организации экологического мониторинга особо опасных промышленных объектов в части получения исходной информации для оценки экологической ситуации на исследуемой территории. В меньшей степени разработаны и научно-методически обоснованы методы анализа указанной информации, включая собственно оценку и прогноз изменения экологической ситуации.

Целью настоящей статьи является анализ существующих критериев оценки экологического состояния территории по результатам мониторинга с точки зрения их информативности и возможности использования при прогнозировании последствий негативного воздействия.

Методы оценки экологического состояния (загрязнения) территории

Для оценки экологического состояния и, прежде всего, загрязнения территории, как правило, используется сравнение текущей концентрации i -го вещества C_i в той или иной природной среде с его предельно допустимой кон-

центрацией ПДК $_i$ в данной среде. При этом условием экологической безопасности является неравенство

$$C_i \leq \text{ПДК}_i. \quad (1)$$

На основе определения концентраций веществ-загрязнителей в каждой точке сети пробоотбора строятся поверхности распределения загрязнения по исследуемой территории. С учетом того, что величины ПДК веществ имеют под собой преимущественно санитарно-гигиеническую основу, использование условия (1) оправданно, прежде всего, для оценки опасности загрязнения объектов окружающей среды для здоровья населения. Подобная «покомпонентная» оценка или оценка с использованием веществ-маркеров, характерных для конкретного ТО, является важной, поскольку факт превышения ПДК даже по какому-либо одному веществу является свидетельством экологического неблагополучия территории для проживающего или находящегося в зоне влияния техногенного объекта населения.

Обобщением формулы (1) является использование различного рода агрегированных индексов в виде линейных сверток, ядром которых является отношение текущей концентрации i -го вещества C_i к его предельно допустимой концентрации ПДК $_i$ в определенной природной среде:

$$K_i = \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}. \quad (2)$$

В качестве примера можно привести комплексный индекс загрязнения атмосферы (руководящий документ РД 52.04.667-2005):

$$\text{КИЗА} = \sum_{i=1}^n (K_i)^m,$$

где n – количество учитываемых веществ, а безразмерный показатель степени m зависит от класса опасности загрязняющего вещества.

По такому же принципу построен удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (Руководящий документ РД 52.24.643-2002), учитывающий как уровни превышения ПДК контролируемых веществами, так и частоту указанных превышений. Следует отметить, что использование в формуле (2) ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК $_{р,х}$) позволяет приблизить оценку состояния водоема к экологической.

Уровень загрязненности почв определяется с помощью суммарного показателя химического загрязнения почв Z_c (Методические указания. МУ 2.1.7.730-99), в котором знаменатель ядра (2) представляет собой не предельно допусти-

мую, а фоновую (C_{ϕ}) концентрацию загрязняющего вещества:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{\phi i} - (m-1),$$

где $K_{\phi} = C_i/C_{\phi}$, а n – количество контролируемых показателей (загрязнителей).

Для оценки уровня загрязнения природных сред на основе описанных выше обобщенных показателей и индексов разработаны специ-

альные таблицы. В качестве примера в таблице 1 (Методические указания. МУ 2.1.7.730-99) приведены диапазоны изменения суммарного показателя химического загрязнения почв, соответствующие различным уровням опасности загрязнения. Как следует из таблицы, показатель Z_c ориентирован преимущественно на обеспечение экологического благополучия населения.

Таблица 1. Диапазоны изменения суммарного показателя загрязнения почв

Table 1. Ranges of change in the total indicator of soil pollution

№	Категория загрязнения почв	Показатель Z_c	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
I	Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимум функциональных отклонений
II	Умеренно опасная	16–32	Увеличение общего уровня заболеваемости
III	Высоко опасная	32–128	Увеличение общего уровня заболеваемости, числа часто болеющих детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционирования сердечно-сосудистой системы
IV	Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение случаев токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофии новорожденных)

Известны также различные варианты модернизации приведенных выше индексов [16–18], которые в отдельных случаях позволяют повысить информативность описания.

В практике мониторинговой деятельности на объектах по уничтожению химического оружия в Удмуртской Республике оценка загрязнения природных сред на основе полученных данных, как правило, исчерпывалась использованием «покомпонентного» подхода (1), а также осуществлялась путем сравнения текущих концентраций загрязнителей в точках с их значениями в предыдущих периодах наблюдений. Обобщенные индексные оценки использовались преимущественно для определения суммарного загрязнения почв. При этом для значительного количества точек наблюдения величина суммарного показателя химического загрязнения почв оказалась меньше единицы, что лежит за пределами корректного применения формулы для Z_c , приведенной выше. Причиной подобного результата является использование условно фоновых концентраций веществ загрязнителей почвы, определенных до ввода ОУХО в эксплуатацию. Как показали исследования [19], проведенные в течение 8 лет до начала функ-

ционирования ОУХО в пос. Кизнер Удмуртской Республики, условно фоновые концентрации отдельных веществ не являются постоянными величинами, а их изменение может носить разнонаправленный характер. Что касается природного фона, то пределы его изменения также достаточно широки. Например, для мышьяка в работе [20] природный фон в районе ОУХО принят равным 3,0 мг/кг. В то же время значение природного фона в зависимости от типа почв указанной территории может изменяться от 1,2 мг/кг (для супесчаных почв) до 6,7 мг/кг (для пойменных почв) [21]. В подобной ситуации использование природных фоновых или условно фоновых концентраций для оценки уровня загрязненности территории при всей простоте и логичности такого подхода должно быть научно обосновано и подтверждено результатами специальных исследований.

Результаты биомониторинга (биоиндикации) на специально выбранных площадках в зоне влияния ОУХО оценивались с помощью агрегированного индекса в виде интегральной «функции желательности» [22], представляющей собой среднее геометрическое частных функций желательности. Последние определяются как

отношения текущих величин какого-либо показателя состояния растительного и животного мира к их величинам для «хорошего» (не нарушенного) состояния экосистемы. Так, например, при оценке состояния растительных сообществ использовалось 12 различных показателей (число видов сосудистых растений, видов лишенофлоры, среднесезонная биомасса дождевых червей и т. п.).

Для показателей с наиболее желательными максимальными значениями частная функция желательности определяется как $F_i = y_i / y_{\max}$, где y_i – значение параметра на i -й площадке мониторинга; y_{\max} – максимальное (наиболее желательное) значение параметра.

Для показателей с наиболее желательными минимальными значениями частная функция желательности $F_i = (y_{\max} - y_i) / (y_{\max} - y_{\min})$, где y_{\max} – максимально возможное (наименее желательное) значение параметра; y_{\min} – минимальное (наиболее желательное) значение параметра на площадках мониторинга.

С учетом приведенных формул диапазон изменения частных и интегральной функции желательности находится в пределах от 0 до 1.

Результаты биомониторинга в зоне влияния ОУХО в г. Камбарке показали, что наибольшей трансформации подвержены лесные и пресноводные экосистемы в точках мониторинга, расположенных в непосредственной близости от объекта. Наличие количественной связи между уровнем загрязнения природных сред и состоянием биоты не исследовалось.

Приведенный выше анализ свидетельствует об отсутствии единого научно-методического подхода и информативных критериев оценки экологических последствий негативного воздействия техногенных объектов повышенной опасности на окружающую природную среду.

Выводы и заключение

Анализ результатов мониторинга в зоне влияния ОУХО и их оценки на основе описанных выше подходов приводит к следующим выводам.

1. Покомпонентная оценка уровня загрязнения природных сред (воздух, почва, поверхностные воды) в зоне влияния ТО повышенной опасности на основе санитарно-гигиенических ПДК является безусловно необходимой. Вместе с тем следует указать, что ее основным объектом являются состояние здоровье человека, а предметом – качество среды проживания (или рабочей среды) в зоне влияния техногенного объекта. Исходя из этого потребителем указанной информации в первую очередь являются

государственные органы в сфере санитарно-гигиенического и экологического благополучия населения. Покомпонентный подход к оценке экологических последствий негативного воздействия, а также процессов трансформации природной среды мало информативен.

Динамика концентрации отдельных (маркерных) веществ может являться предметом прогнозирования с использованием различного рода моделей, в том числе нейросетевых [23]. При этом следует отметить, что основное использование результатов такого прогноза по-прежнему состоит в определении соответствия качества среды обитания человека санитарно-гигиеническим нормам.

2. Переход к оценке на основе использования агрегированных показателей загрязнения позволяет несколько повысить ее информативность за счет учета всех или определенного перечня веществ загрязнителей. При этом использование в качестве основы для сравнения величин ПДК сохраняет направленность таких критериев на оценку опасности окружающей среды для здоровья человека. Замена предельно допустимых концентраций на фоновые значения повышает информативность использования агрегированных индексов для оценки динамики загрязнения природных сред. Сложности их использования связаны прежде всего с необходимостью методического обоснования конкретных показателей фонового загрязнения природных сред.

Кроме того, информативность индексов, основанных на свертках, существенно снижается вследствие имеющейся корреляции между значениями концентраций контролируемых веществ. Наличие «информационного шума», порожденного корреляций, не позволяет также корректно использовать агрегированные индексы в качестве объясняющих переменных (предикторов) в различных прогностических моделях.

3. Результаты биоиндикации в виде функций желательности на мониторинговых площадках могут являться основой интегральной оценки состояния природной среды за счет учета большого числа отдельных показателей, определяющих состояние объектов растительного и животного мира. Вместе с тем практика использования функции желательности как самостоятельной оценки вне связи с другими показателями, например уровнем загрязнения территории, существенно снижает ее информативность.

Таким образом, научно-методическое обеспечение системы экологического мониторинга

ПТС, включающих опасные производственные объекты, характеризуется явной недостаточностью в части обоснования показателей комплексной оценки экологического состояния территории и методов идентификации источников негативного воздействия. Существующие интегральные показатели (индексы) состояния окружающей среды основаны на использовании санитарно-гигиенических нормативов. Использование линейных и нелинейных сверток концентраций, нормированных по ПДК или фоновым значениям, характеризуются недостаточной информативностью также вследствие суммирования взаимно коррелированных величин. Эти обстоятельства существенным образом сдерживают использование современных методов моделирования систем для оценки и прогнозирования экологического состояния ПТС. Первым шагом на пути к использованию этих методов является разработка интегральных показателей состояния окружающей среды в зоне негативного воздействия ТО, учитывающих биотические и абиотические факторы и их взаимное влияние.

Библиографические ссылки

1. *Ломтадзе В. Д.* Словарь по инженерной экологии. СПб. : Изд. СПбГИ, 1999. 360 с.
2. *Суздалева А. Л.* Создание управляемых производно-технических систем. М. : ИД Энергия, 2016. 160 с.
3. Экологическая энциклопедия : в 6 т. / редкол.: В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев и др. Т. 5. П-С. М. : Энциклопедия, 2011. 448 с.
4. Система нормирования негативного воздействия на окружающую среду: новые подходы к формированию и возникающие проблемы / В. И. Титаренко, Н. В. Петрова, О. В. Усикова, Д. Н. Лоницкая // Московский экономический журнал. 2019. № 2. С. 171–184.
5. *Петрова Т. В.* Проблемы нормирования воздействия на окружающую среду в российском законодательстве // Правоведение. 2018. Т. 62, № 4. С. 640–650.
6. Нормирование и снижение негативного воздействия на водные экосистемы: учебное пособие для высших учебных заведений / Е. А. Примаков, Н. В. Зуева, Д. К. Алексеев, Е. Ю. Вяткина. СПб. : РГГМУ, 2020. 116 с.
7. *Тимофеева Е. А.* Химическое загрязнение биосферы и экологические правонарушения. М. URL: <https://teach-in.ru/file/synopsis/pdf/chemical-pollution-of-the-biosphere-timofeeva-M.pdf>.
8. *Бондарик Г. К.* Экологическая проблема и производно-технические системы. М. : Икар, 2004. 152 с.
9. Экологическая оценка и экологическая экспертиза / О. М. Черп., И. Н. Виниченко, М. В. Хотулева, Я. П. Молчанова, С.Ю. Дайман. М. : Эколайн, 2001. 141 с.
10. *Голубева С. Г.* Основные требования к программе проведения послепроектного анализа // Экология производства. 2010. № 6. С. 36–40.
11. *Ашихмина Т. Я.* Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия : монография. Киров : Вятка, 2002. 544 с.
12. Экологический мониторинг опасных производственных объектов: опыт создания и перспективы развития (на примере систем экологического контроля и мониторинга объектов по уничтожению химического оружия) : монография / под общ. ред. проф. В. Н. Чуписа. М. : Научная книга, 2010. 526 с.
13. Комплексный экологический мониторинг в районах расположения опасных промышленных объектов, системы экологического мониторинга объектов по уничтожению химического оружия и атомных электростанций : монография / под общ. ред. проф. В. Н. Чуписа. М. : Научная книга, 2014. 528 с.
14. Биологический мониторинг в зоне влияния Камбарского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации : монография / под ред. Б. Г. Котегова. Ижевск : Удмуртский университет, 2013. 178 с.
15. Биоиндикаторы и биотестсистемы в оценке окружающей среды техногенных территорий / под общ. ред. Т. Я. Ашихминой, Н. М. Алапкиной. Киров: О-Краткое, 2008. 336 с.
16. *Лотош В. Е.* Единица ПДК как универсальный инструмент оценки суммарного загрязнения окружающей среды // Экологическая экспертиза. Обзорная информация. 2005. № 2. С. 2–14.
17. *Кочетова Ж. Ю., Маслова Н. В., Базарский О. В.* Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда : монография. М. : ИНФРА-М, 2022. 266 с.
18. *Дмитриев В. В., Огурцов А. Н.* Устойчивость сложных систем в природе и обществе: методология, оценка, результаты // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 72–84.
19. *Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М.* Методические аспекты использования фоновых показателей при оценке экологического состояния территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 6–10.
20. *Петров В. Г., Шумилова М. А.* Поведение арсенита натрия в почвах Удмуртии. Ижевск: Изд-во Института механики УрО РАН, 2016. 176 с.
21. *Безносков А. И., Большаков Л. Б., Нелюбин В. Г.* Агроэкологическая оценка территории Удмуртии : монография. Ижевск : Ижевская ГСХА, 2005. 120 с.
22. *Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург : УИФ «Наука», 1994. 280 с.
23. Нейросетевой и геостатистический методы обработки экологической информации о распределении меди в верхнем слое почвы / Е. М. Баглаева, А. Г. Буевич, А. П. Сергеев, Д. А. Тарасов, С. Ю. Арапов, А. Ю. Рахматова // Информация: передача, обработка, восприятие : материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург,

12–13 января 2017 г.). Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 76–87.

References

1. Lomtadze V.D. *Slovar' po inzhenernoi ekologii* [Dictionary of engineering ecology]. St. Petersburg: Ed. SPbGI, 1999. 360 p. (in Russ.).

2. Suzdaleva A.L. *Sozdanie upravlyaemykh prirodno-tekhnicheskikh sistem* [Creation of controlled natural and technical systems]. Moscow: ID Energy, 2016. 160 p. (in Russ.).

3. *Ekologicheskaya entsiklopediya* [Ecological Encyclopedia]: In 6 vols. / Ed.: Danilov-Danilyan V.I. Losev K.S. et al. Moscow: Encyclopedia Publishing House LLC, 2011. 448 p. (in Russ.).

4. Titarenko V.I., Petrova N.V., Usikova O.V., Lonnitskaya D.N. [The system of regulation of the negative impact on the environment: new approaches to the formation and emerging problems]. Moscow Economic Journal. 2019. No. 2. Pp. 171-184 (in Russ.).

5. Petrova T.V. [Problems of regulation of environmental impact in Russian legislation]. Jurisprudence. 2018. Vol. 62, no. 4. Pp. 640-650 (in Russ.).

6. Primak E.A., Zueva N.V. Alekseev D.K., Vyatkina E.Yu. *Normirovanie i snizhenie negativnogo vozdeistviya na vodnye ekosistemy: uchebnoe posobie dlya vysshikh uchebnykh zavedenii* [Rationing and reducing the negative impact on water ecosystems: a textbook for higher educational institutions]. St. Petersburg: RGGMU. 2020. 116 p.

7. Timofeeva E.A. *Khimicheskoe zagryaznenie biosfery i ekologicheskie pravonarusheniya* [Chemical pollution of the biosphere and environmental offenses. Chemical pollution of the biosphere]. Available at: <https://teach-in.ru/file/synopsis/pdf/chemical-pollution-of-the-biosphere-timofeeva-M.pdf> (in Russ.).

8. Bondarik G.K. *Ekologicheskaya problema i prirodno-tekhnicheskie sistemy* [Ecological problem and natural-technical systems]. Moscow: Ikar Publ., 2004. 152 p. (in Russ.).

9. Scoop. O.M., Vinichenko I.N., Khotuleva M.V., Molchanova Ya.P., Daiman S.Yu. *Ekologicheskaya otsenka i ekologicheskaya ekspertiza* [Environmental assessment and environmental expertise]. Moscow: Eco-line, 2001. 141 p. (in Russ.).

10. Golubeva S. G. [Basic requirements for the program of post-project analysis]. Ecology of production. 2010. No. 6. Pp. 36-40 (in Russ.).

11. Ashikhmina T.Ya. *Kompleksnyi ekologicheskii monitoring ob"ektov khraneniya i unichtozheniya khimicheskogo oruzhiya : monografiya* [Comprehensive environmental monitoring of storage and destruction of chemical weapons: monograph]. Kirov: Vyatka Publ., 2002. 544 p. (in Russ.).

12. *Ekologicheskii monitoring opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov: opyt sozdaniya i perspektivy razvitiya (na primere sistem ekologicheskogo kontrolya i monitoringa ob"ektov po unichtozheniyu khimicheskogo oruzhiya) : monografiya* [Ecological monitoring of hazardous production facilities: experience of creation and prospects for development (on the example of systems of

environmental control and monitoring of facilities for the destruction of chemical weapons): monograph]. Ed. prof. V.N. Chupis. Moscow: Scientific book, 2010. 526 p. (in Russ.).

13. *Kompleksnyi ekologicheskii monitoring v raionakh raspolozheniya opasnykh promyshlennykh ob"ektov, sistemy ekologicheskogo monitoringa ob"ektov po unichtozheniyu khimicheskogo oruzhiya i atomnykh elektrostantsii: monografiya* [Comprehensive environmental monitoring in areas where hazardous industrial facilities are located, systems for environmental monitoring of facilities for the destruction of chemical weapons and nuclear power plants: monograph]. Ed. prof. V.N. Chupis. Moscow: Scientific book, 2014. 528 p.

14. *Biologicheskii monitoring v zone vliyaniya Kambarского завода по уничтожению химического оружия: opyt organizatsii i realizatsii : monografiya* [Biological monitoring in the zone of influence of the Kambarisky plant for the destruction of chemical weapons: experience of organization and implementation: monograph]. Ed. B.G. Kotegova. Izhevsk: Udmurt University Publishing House, 2013. 178 p. (in Russ.).

15. *Bioindikatory i biotestisistemy v otsenke okruzhayushchei sredy tekhnogennykh territorii* [Bioindicators and biotest systems in assessing the environment of technogenic territories]. Ed. T. Ya. Ashikhmina, N. M. Alalykina. Kirov: O-Brief, 2008. 336 p. (in Russ.).

16. Lotosh V.E. [MPC unit as a universal tool for assessing total environmental pollution]. Environmental assessment. Overview information. 2005. No. 2. Pp. 2-14 (in Russ.).

17. Kochetova Zh.Yu., Maslova N.V., Bazarsky O.V. *Aviatsionno-raketnye klasteri i okruzhayushchaya sreda : monografiya* [Aviation-missile clusters and the environment: monograph]. Moscow: INFRA-M, 2022. 266 p. (in Russ.).

18. Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. [Stability of complex systems in nature and society: methodology, assessment, results]. *Uchenye zapiski RGMU*. 2017. No. 48. Pp. 72-84 (in Russ.).

19. Kurguzkin M.G., Kurguzkin P.M. [Methodological aspects of the use of background indicators in assessing the ecological state of territories]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2015. No. 4. Pp. 6-10 (in Russ.).

20. Petrov V.G., Shumilova M.A. *Povedenie arsenita natriya v pochvakh Udmurtii* [Behavior of sodium arsenite in soils of Udmurtia]. Izhevsk: Publishing House of the Institute of Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016. 176 p. (in Russ.).

21. Beznosov A.I., Bolshakov L.B., Nelyubin V.G. *Agroekologicheskaya otsenka territorii Udmurtii : monografiya* [Agro-ecological assessment of the territory of Udmurtia: monograph]. Izhevsk. FGOU VPO Izhevsk State Agricultural Academy, 2005. 120 p. (in Russ.).

22. Vorobeichik E.L., Sadykov O.F., and Farafontov M.G. *Ekologicheskoe normirovanie tekhnogennykh zagryaznenii nazemnykh ekosistem (lokal'nyi uroven')* [Ecological regulation of technogenic pollution of terrestrial ecosystems (local level)]. Ekaterinburg: UIF "Nauka". 1994. 280 p. (in Russ.).

23. Baglaeva E.M., Buevich A.G., Sergeev A.P., Tarasov D.A., Arapov S.Yu., Rakhmatova A.Yu. *Neirose-*

tevoi i geostatisticheskii metody obrabotki ekologicheskoi informatsii o raspredelenii medi v verkhnem sloe pochvy [Neural network and geostatistical methods for processing environmental information on the distribution of copper in the upper soil layer]. *Informatsiya: peredacha, obrabotka, vospriyatie : materialy mezhdunarodnoi*

nauchno-prakticheskoi konferentsii (Ekaterinburg, 12–13 yanvarya 2017 g.) [Proc. Information: transmission, processing, perception: materials of the international scientific and practical conference (Yekaterinburg, January 12-13, 2017)]. Yekaterinburg: UrFU, 2017. Pp. 76-87 (in Russ.).

Methodological Aspects of Local Natural and Technical System Assessment Based on the Results of Environmental Monitoring

M. M. Gorokhov, DSci. in Physics and Mathematics, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

M. A. Korepanov, DSc. in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

P. M. Kurguzkin, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The concept of a natural-technical system is considered as a set of man-made and natural objects located on a single territory is considered. The environmental safety of the natural and technical system is ensured by limiting the negative impact on the environment from a technogenic object. It is noted that the regulation of the negative impact is necessary but not sufficient condition for environmental safety, since it is primarily focused on the implementation of sanitary and hygienic standards in relation to the people's living or working conditions on the territory of a natural and technical system. The use of sanitary and hygienic maximum allowable concentrations in assessing the transformation of environmental objects is not very informative. It is noted that in the regular functioning conditions of a man-made object, the information basis for assessing negative changes in the environment is the results of environmental monitoring. Environmental monitoring systems are developed mostly for highly hazardous production facilities in terms of organizing the obtaining quantitative data on environmental pollution. The issues of quantitative assessment of the ecological state of the territory have not been adequately considered. The indicators used in the form of aggregated convolutional indices are still focused on sanitary and hygienic standards. In addition, their information content is reduced due to the cross-correlation of indicators used in the calculation in the form of pollutant concentrations. It is noted that objects of flora and fauna are more sensitive to negative impacts, and therefore, along with the quantitative chemical analysis of the pollution of the territory, monitoring of the biotic component of the environment is carried out. At the same time, biomonitoring data are considered as independent results. The relationship between general desirability function in assessing the state of biocenoses and other characteristics of the territory, including its pollution, is usually not studied, which also reduces their informational value. Based on the analysis of the considered materials, it was concluded that for an informative assessment and forecast of the ecological state of the natural and technical system, the development of integral indices of the biotic and abiotic components of the environment in their relationship is required.

Keywords: natural and technical system, environmental safety, regulation of negative impact, environmental monitoring and pollution assessment, maximum allowable concentration, biomonitoring, desirability function, integral pollutionindex.

Получено: 24.05.23

Образец цитирования

Горохов М. М., Корепанов М. А., Кургузкин П. М. Методические аспекты оценки состояния локальных природно-технических систем на основе результатов экологического мониторинга // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 3. С. 54–61. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-54-61.

For Citation

*Gorokhov M.M., Korepanov M.A., Kurguzkin P.M. [Methodological aspects of state assessment local natural and technical systems based on the results of environmental monitoring]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 3, pp. 54-61. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-3-54-61.*