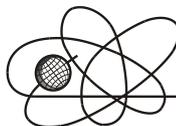




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2020-02

Preprint IBRAE-2020-02

И. Л. Абалкина, С. В. Панченко

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПЛОЩАДКИ
КАК ПРИМЕР ЛУЧШИХ ПРАКТИК
В ОБЛАСТИ РЕАБИЛИТАЦИИ**

Москва
2020

Moscow
2020

УДК 621.039.009

Абалкина И. Л., Панченко С. В. Концептуальная модель площадки как пример лучших практик в области реабилитации. — (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом.энергетики РАН, № IBRAE-2020-02). — М.: ИБРАЭ РАН, 2020. — 49 с. — Библиогр.: 74 назв. — 100 экз. — ISBN 978-5-6041296-7-8

В работе описаны основные принципы создания и использования концептуальной модели площадки (КМП), которая широко признана в качестве инструмента принятия решений в области реабилитации загрязнённых территорий. На основе анализа различных руководств показаны цели создания КМП и её развитие, требования к информации, применение в процессе реабилитации.

Практическое использование данного инструмента продемонстрировано применительно к территории, прилегающей к Кирово-Чепецкому химическому комбинату. Представлены результаты расчётов доз облучения для двух сценариев использования территории. В работе также обсуждается потенциал применения КМП для поддержки работ на площадках ядерных объектов.

Публикация адресована широкому кругу специалистов в области технических и общественных наук, которые работают по проблематике ядерного наследия и прошлого экологического ущерба.

ISBN 978-5-6041296-7-8

©ИБРАЭ РАН, 2020

Abalkina I. L., Panchenko S. V. Conceptual Site Model as an Example of Best Practices in Remediation. — (Preprint / Nuclear Safety Institute RAS, № IBRAE-2020-02). — Moscow: Nuclear Safety Institute RAS, 2020. — 49 p. — Bibliogr.: 74 items. — ISBN 978-5-6041296-7-8

The paper describes the main principles for development and use of conceptual site model (CSM), which is widely recognized as a tool for remediation decision making. Based on the analysis of various guidelines, the paper considers CSM goals, evolution, information requirements, application in remediation process.

The practical use of this tool is demonstrated in relation to the area adjacent to the Kirov-Chepetsk Chemical Combine. Radiation dose calculations for the two land use scenarios are presented. The paper also discusses the potential of CSM application in support of activities at nuclear legacy sites.

This publication is addressed to a broad audience of technical and social science experts who deal with nuclear legacy issues and past environmental liabilities.

ISBN 978-5-6041296-7-8

©Nuclear Safety Institute, 2020

Концептуальная модель площадки как пример лучших практик в области реабилитации

Абалкина И.Л., Панченко С.В.

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
115191, Москва, ул. Б. Тульская, 52
тел.: (495) 955-22-60, факс: (495) 958-00-80, электронная почта: abalkina@ibrae.ac.ru

Содержание

| | |
|--|----|
| Предисловие..... | 4 |
| Введение | 4 |
| 1 Концептуальная модель площадки: описание инструментария..... | 5 |
| 1.1 Основные понятия | 5 |
| 1.2 Цели и принципы создания КМП..... | 8 |
| 2 Предварительная КМП для территории, прилегающей к Кирово-Чепецкому химическому комбинату..... | 13 |
| 2.1 Описание проблемы..... | 13 |
| 2.2 Сценарии использования территории..... | 15 |
| 2.3 Результаты расчётов доз облучения | 19 |
| 2.4 Перспективы использования КМП КЧХК..... | 22 |
| 3 Примеры зарубежных руководств по КМП | 23 |
| 3.1 Руководство по КМП штата Огайо (США)..... | 23 |
| 3.2 Руководство по КМП штата Нью-Джерси (США)..... | 25 |
| 3.3 Руководство по КМП провинции Британская Колумбия (Канада)..... | 29 |
| 4 Обсуждение..... | 33 |
| 4.1 КМП в контексте проблематики загрязнённых территорий | 33 |
| 4.2 Перспективы применения КМП на площадках объектов использования атомной энергии | 36 |
| 4.3 Пример использования КМП для пункта хранения РАО..... | 41 |
| Заключение | 44 |
| Благодарности..... | 45 |
| Литература | 45 |

Предисловие

Настоящая работа выполнена в ИБРАЭ РАН с целью продемонстрировать применение такого инструмента, как концептуальная модель площадки (КМП), для территорий объектов ядерного наследия, на которых планируются или ведутся работы по обращению с накопленными радиоактивными отходами, выводу из эксплуатации и реабилитации.

Данная тема появилась в поле зрения авторов в 2016 году в ходе анализа зарубежного опыта разработки и использования инструментальных критериев долгосрочной радиационной и экологической безопасности и организации долговременного мониторинга. В первую очередь обратили на себя внимание публикации Министерства энергетики США (DOE) и Агентства по охране окружающей среды США (EPA), адресованные КМП. Говоря об интегрированном системном подходе к мониторингу реабилитируемых площадок, DOE отмечает, что главный аспект мониторинга – это сфокусированность на понимании системы в целом, которое опирается на концептуальные модели площадок и их эволюцию, а сама КМП является ключом к достижению целей реабилитации и мониторинга [1]. EPA относит КМП к лучшим практикам в области управления реабилитацией, понимая под лучшими практиками методы и техники, которые являются наиболее эффективными и практичными для достижения цели при оптимизации использования ресурсов [2]. Авторы затрагивали тематику КМП в контексте развития методологических подходов к реабилитации территорий пунктов размещения и консервации особых радиоактивных отходов (РАО) и других радиационно и химически загрязнённых участков с предложением использовать КМП для тех из них, где уровень техногенного пожизненного риска для населения выше 1×10^{-4} [3]. Изучение инструментария КМП было продолжено в рамках Межрегионального практического учебного курса по реализации проектов реабилитации (Пилотный проект школы реабилитации), организованного МАГАТЭ по проекту технического сотрудничества INT/9/183 в июле 2018 года в Аргоннской национальной лаборатории (США) [4].

В журнале «Вопросы радиационной безопасности» представлены первые результаты проведённых авторами работ [5], в настоящей публикации они показаны более подробно и развёрнуто. Авторы выражают надежду, что собранный ими материал будет полезен широкому кругу читателей, так или иначе вовлечённых в деятельность по обоснованию, планированию и ведению работ на объектах ядерного наследия и других загрязнённых площадках.

Введение

Формирование в промышленно развитых странах современной системы экологического регулирования началось в конце 60-х годов прошлого века. Проблема исторического загрязнения окружающей среды, обусловленного индустриальным развитием и прошлыми практиками обращения с отходами, стала актуализироваться несколько позже, в конце 70-х, и продолжает оставаться на повестке дня во многих странах. Накопленный опыт реабилитации загрязнённых территорий интересен как в организационно-управленческом, так и технологическом плане. Сегодня он актуален для крупных площадок ядерного наследия, которые требуют реализации продолжительных и дорогостоящих проектов по выводу из эксплуатации. Очистка таких площадок является сложной и ресурсоемкой, особенно в случаях, когда необходимо принятие мер по локализации загрязнения и предотвращению его распространения в окружающей среде.

Среди широкого диапазона используемых инструментов и практик значительный интерес представляют те, которые обеспечивают научное обоснование для принятия решений в рамках всего проектного цикла деятельности по реабилитации – от выявления проблемы до окончания работ по её решению. Одним из таких инструментов является КМП, которая позволяет выработать подходы в отношении конкретной территории, в том числе и прежде всего, показать как наличие проблемы и необходимость действий по реабилитации, так и, что вполне возможно, отсутствие проблемы и такой необходимости.

КМП широко используется в зарубежной практике при реабилитации участков с любым типом загрязнений. В США разработка КМП является требованием EPA к работам на наиболее загрязнённых площадках, включая объекты ядерного наследия, описание американского опыта использования КМП представлено в публикации [6]. Аналогичные требования есть в отдельных штатах, а также других странах. КМП представлена в большом числе пособий и руководств, среди которых следует назвать, прежде всего, международный стандарт ISO 21365:2019 «Концептуальные модели площадок для потенциально загрязнённых площадок» [7].

Основные причины, которые обусловили широкое применение КМП за рубежом, на наш взгляд, заключаются в следующем. Это, во-первых, ведение промышленно развитыми странами работ по реабили-

тации площадок, загрязненных в ходе прошлой деятельности, при высокой стоимости таких работ и уникальности/сложности отдельных площадок.

Во-вторых, это наработка опыта в части результативности применяемых технологий, что позволяет сместить центр тяжести с вопросов «что с этим делать и как» на «мы понимаем, что мы делаем, зачем мы это делаем и как мы этим управляем».

В-третьих, это необходимость сбора, анализа, сохранения и интерпретации огромных объёмов данных на протяжении всего жизненного цикла проектов, который может занимать десятилетия и включать этап долгосрочного наблюдения после завершения активной фазы работ.

Сходные задачи по устранению экологических последствий прошлой деятельности в различных областях стоят и в нашей стране. В настоящее время вопросы реабилитации не вполне урегулированы на законодательном уровне, остаются открытыми вопросы определения конечных состояний объектов и территорий, критериев и методов их достижения. Если говорить о специфике ядерной сферы, требования обеспечения безопасности на заключительных стадиях жизненного цикла объектов использования атомной энергии диктуют необходимость совершенствования и развития соответствующих подходов и инструментария. Возможные области применения КМП, как показывает зарубежный опыт, шире, чем собственно деятельность по реабилитации, и могут включать широкий спектр задач, связанных с распространением загрязнения в окружающей среде и его влиянием на живые организмы.

КМП базируется на вполне традиционных для радиационной защиты и других экологических исследований способах сбора, анализа и применения данных. В чём же тогда её отличие от других подходов и практик? КМП можно охарактеризовать как научный инструмент, применяемый для системного осмысления проблем загрязнения на конкретной площадке, поддержки принятия решений и проверке достижения результатов. Как заметил американский эксперт С. Браун (Steven H. Brown) в интервью одному из авторов, КМП – это образ мыслей.

1 Концептуальная модель площадки: описание инструментария

1.1 Основные понятия

Понятие концептуальной модели (conceptual model) универсально, под ней понимается «набор качественных допущений, используемых для описания системы» [8, 9]. Концептуальная модель площадки – это дословный перевод с английского термина «conceptual site model» (CSM). «Site» в данном случае переводится нами как «площадка». Мы полагаем, что такой перевод лучше отражает назначение КМП, чем другие варианты (например, если переводить «site» как «участок», возникает ассоциация с земельно-правовыми отношениями, а не тематикой загрязнения окружающей среды промышленными объектами). Также наш вариант перевода соответствует опубликованным источникам [6].

В литературе часто используется определение авторитетной международной организации в области технических стандартов ASTM International, которое наиболее ёмко и точно передаёт содержание КМП [10]. Есть и другие определения, приведём несколько примеров (табл. 1).

Таблица 1. Некоторые определения КМП

| Определение (перевод) | Определение (оригинал), источник |
|--|--|
| Письменное или графическое представление экологической системы и биологических, физических и химических процессов, которые определяют перенос загрязняющих веществ из источников через компоненты природной среды к экологическим рецепторам в системе | A written or pictorial representation of an environmental system and the biological, physical and chemical processes that determine the transport of contaminants from sources through environmental media to environmental receptors in the system <i>ASTM E1689-95(2014). Standard Guide for Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites [10]</i> |
| Обобщение всей информации о потенциально загрязнённом участке, имеющей отношение к поставленной задаче, с должной интерпретацией и признанием неопределённостей | Synthesis of all information about a potentially contaminated site relevant to the task in hand with interpretation as necessary and recognition of uncertainties <i>Soil quality – Conceptual site models for potentially contaminated sites. International Standard ISO 21365:2019 [7]</i> |
| Представление о природе, судьбе и переносе сбросов, отходов или загрязняющих веществ, что позволяет оценить потенциальное и / или фактическое воздействие загрязняющих веществ | Representation of the nature, fate and transport of discharges, wastes or contaminants that allows assessment of potential and/or actual exposure to contaminants <i>Guidelines on Conceptual Site Models. Northern Territory Environmental Protection Agency (Australia). November 2013. Version 2.0 [11]</i> |

Сделаем ряд пояснений по терминологии. Для североамериканских литературных источников характерно использование понятий «завершённый/незавершённый путь». А, например, стандарт ISO 21365:2019 подчёркивает различие терминологически: путь воздействия всегда имеет выход на рецептора, а путь миграции – нет. Приведём ряд определений из этого стандарта [7].

Путь воздействия (exposure pathway) – путь, маршрут или другие способы, посредством которых загрязнитель или опасные вещества из конкретного источника попадают к рецептору (прим. – каждый путь воздействия соединяет источник с рецептором).

Путь миграции (migration pathway) – путь, маршрут или другие способы, посредством которых загрязнитель или опасные вещества из конкретного источника может распространяться или распределяться (прим. – путь миграции не обязательно имеет связь с рецептором).

Путь (pathway) – механизм или путь, посредством которых вещество или фактор могут входить в контакт или иным способом воздействовать на рецептора.

Источник (source) – место, из которого происходит высвобождение загрязнителя или опасного фактора.

Загрязнитель (contaminant) – вещество или фактор, присутствующий в компоненте природной среды в результате деятельности человека (прим. – из определения не следует, что наличие загрязнителя причиняет вред).

Компонент природной среды (environmental medium) – почва, недра, поверхностные воды, грунтовые воды, почвенный газ и воздух, которые могут содержать загрязнители.

Рецептор (receptor) – всё, на что оказывает влияние воздействие загрязнителей, например, люди (посетители, нынешние и установленные собственники, строительные рабочие), другие организмы или экосистемы целиком, компоненты природной среды или искусственные сооружения.

Поясим и такой момент. В североамериканских литературных источниках для «пути воздействия» обычно используется термин «exposure route», а не «exposure pathway». Кроме того, в описании «источник - путь - рецептор» часто указываются «первичные/вторичные источники» и «механизм распространения» (высвобождения). Это связано с тем, что при подаче информации и визуализации КМП разработчики ориентируются на стандарт ASTM и принятую в нём логику изложения и терминологию [10]. На рис.2 информация из нашего примера с уткой из хранилища РАО приведена в этом формате. Для упрощения блок-схемы ограничились одним рецептором.



Рисунок 2. Вариант описания «источник - путь - рецептор»

Некоторые отличия в терминологии отдельных руководств могут касаться рассматриваемых компонентов природной среды. В определении ISO 21365:2019 [7] биота не включена в их число (посчитаем это формальностью, так как биота многократно упоминается в этом контексте по тексту документа). Стандарт ASTM [10] прямо указывает, что перенос в окружающей среде может осуществляться в том числе по пищевой цепочке. Отметим, что «компонент природной среды» в соответствии с понятийным аппаратом Федерального закона «Об охране окружающей среды [13] включает также растительный, животный мир и иные организмы. Отличия касаются и формулировок в отношении рецепторов. Под ними обычно понимаются человек и экологические рецепторы (биота), но могут рассматриваться и объекты собственности, например, в ISO 21365:2019 [7] упомянуты искусственные сооружения.

Данные пояснения нами сделаны для облегчения понимания англоязычных источников. Отдельные различия не имеют принципиального значения и связаны либо с традициями применения понятийного аппарата, либо с назначением отдельных документов. КМП является универсальным инструментом, позволяющим адаптировать его к конкретным целям и потребностям.

Поскольку область применения КМП это, прежде всего, реабилитация загрязнённых участков, прокомментируем также терминологию в этой области. Чаще всего можно встретить два термина – «remediation» и «cleanup». В терминологии МАГАТЭ «cleanup» (очистка) используется в контексте вывода из

эксплуатации (ситуация планируемого облучения), а «remediation» (в официальных переводах: восстановительные мероприятия) – в контексте имеющегося загрязнения (ситуация существующего облучения). В российской практике редко встречается словосочетание «восстановительные мероприятия», и, по нашему мнению, оно не точно передаёт значение термина «remediation» (согласно Глоссарию МАГАТЭ, это любые мероприятия, которые могут проводиться в целях снижения радиационного облучения, вызываемого имеющимся загрязнением земельных участков, посредством мер, применяемых в отношении самого загрязнения (источника) или путей, которыми люди подвергаются облучению [14]). Мы полагаем, что термин «реабилитация» лучше отражает суть и более распространён в литературе. Отметим также, что Ростехнадзор, как и МАГАТЭ, не употребляет термин «реабилитация» применительно к деятельности по выводу из эксплуатации.

В англоязычной литературе нет устоявшихся правил применения терминов «remediation» и «cleanup», они обычно выступают как синонимы. Часто выбор бывает продиктован терминологией соответствующего законодательства и регулирующих процедур. В настоящей работе мы не будем проводить различий между «реабилитацией» и «очисткой», за исключением непосредственного обращения к документам МАГАТЭ и российским нормативно-правовым актам.

1.2 Цели и принципы создания КМП

При построении КМП следует, прежде всего, определить, для каких целей она создаётся – исследование площадки, оценка необходимости реабилитации, сопровождение работ, новая деятельность на участке и др. Построение КМП – это итеративный, эволюционный процесс. Считается общепринятым, что КМП создается на возможно более ранней стадии проекта реабилитации, начиная с описания имеющихся данных о площадке (кабинетное исследование), а создаваемая модель носит название предварительной. Предварительная КМП становится отправной точкой для её дополнения и развития на последующих этапах выполнения проекта, включая характеризацию площадки, выбор реабилитационных мероприятий, их реализацию и этап после завершения работ. Однако это не означает, что пропустив начальный этап, далее создавать КМП поздно или не имеет смысла. Если КМП создается уже после начала работ, она может ставить целью решение задач текущего и будущих этапов, подтверждение правильности осуществляемых действий (и, возможно, их переосмысление, если что-то идет не так, как ожидалось) и фиксации достигнутых результатов.

Этапы жизненного цикла КМП в увязке со стадийностью, предусмотренной ЕРА для проектов реабилитации, подробно описаны в [6], публикация размещена в свободном доступе на сайте <http://фиш-ярб2030.pф>. Чтобы избежать повторений, покажем их на примере одного из руководств [15]. В табл. 2 схематически отображены основные стадии проекта реабилитации (по установленной процедуре ведения работ), соответствующие им этапы жизненного цикла КМП и предписанные регулированием действия. Последние предпринимаются в рамках трёх программ по очистке, это: 1) программа реабилитации штата Огайо (США), являющаяся аналогом федеральной программы; 2) очистка в соответствии с RCRA (RCRA – законодательный акт, устанавливающий требования к объектам обращения с опасными отходами и мерам по ликвидации утечек на таких объектах); 3) программа добровольной очистки штата.

Таблица 2. Этапы жизненного цикла КМП и стадии регулирования программ штата Огайо (США) [15]

| Стадии экологической реабилитации | Этап жизненного цикла КМП | Программа реабилитации | RCRA | Программа добровольной очистки |
|--|-----------------------------|--|---|---|
| Оценка площадки | Предварительная КМП | Предварительная оценка Инспекция площадки | Оценка объекта | Оценка объекта, этап I |
| | Базовая КМП | Отчёт об оценке Предварительные цели реабилитации | | Оценка объекта, этап II (рекомендуется итеративное обновление КМП) |
| Исследование площадки и оценка альтернатив | КМП на этапе характеризации | Исследование для реабилитации и анализ целесообразности (рекомендуется итеративное обновление КМП) | Исследование объекта | Реабилитация |
| | | | Исследование корректирующих мер | |
| Выбор реабилитационных мероприятий | КМП на этапе проектирования | Предпочтительный план Документ о принятии решения | Основное заявление | |
| Проведение реабилитации | КМП на этапе ведения работ | Проект реабилитации Реабилитационные мероприятия | Окончательное решение и ответы на комментарии | |
| | | | Проведение корректирующих мер | |

Продолжение таблицы 2

| Стадии экологической реабилитации | Этап жизненного цикла КМП | Программа реабилитации | RCRA | Программа добровольной очистки |
|--|---------------------------|--|---|--------------------------------|
| Мероприятия после выполнения активной фазы работ | КМП после окончания работ | Эксплуатация и обслуживание Долгосрочный мониторинг Периодические инспекционные проверки | Эксплуатация и обслуживание, инспекционные проверки и надзор | Эксплуатация и обслуживание |
| Завершение работ на площадке | | Завершение капитальных работ Завершение работ | Подтверждение завершения корректирующих мер, контроль или снятие контроля | |

Примечание: Требуемые мероприятия по Программе реабилитации штата Огайо соответствуют тем, которые проводятся по федеральной программе в соответствии с CERCLA – основным законодательным актом США, устанавливающим обязанности по очистке.

На всех этапах процесса реабилитации КМП используется для понимания взаимосвязи «источник – путь – рецептор» на проблемной территории. Функциональные возможности КМП кратко описаны в табл. 3.

Таблица 3. Применение КМП в процессе реабилитации [12]

| | |
|--|--|
| Предварительная оценка | <ul style="list-style-type: none"> • Позволяет пользователю резюмировать собранную о проблемном участке информацию применительно к описанию источника, путей и потенциальных рецепторов. • Может исключить необходимость дальнейшего исследования (например, проведение экологической оценки, исследования помещений внутри зданий). • Является основой выработки подхода к исследованию площадки. |
| Исследование площадки/ исследование для реабилитации | <ul style="list-style-type: none"> • Характеризует физические, биологические и химические механизмы на проблемной территории. • Описывает процессы, которые влияют на сбросы, миграцию загрязнителей и подверженность их воздействию. • Фиксирует загрязнители, не связанные с площадкой (к примеру, засыпка в ходе прошлых ландшафтных работ, природный фон, диффузное антропогенное загрязнение). |
| Выбор реабилитационных мероприятий | <ul style="list-style-type: none"> • Определяет потенциальные пути воздействия (например, пероральный и ингаляционный) и выявляет потенциальные риски для здоровья человека и окружающей среды. • Определяет альтернативы реабилитационных мероприятий. • Способствует выбору реабилитационных мероприятий для устранения неприемлемого воздействия значимых загрязнителей на экологических рецепторов и тем самым обеспечивает защиту здоровья человека и окружающей среды. • Определяет пробелы в информации, которые препятствуют принятию решения о выборе реабилитационных мероприятий и рассмотрению соответствующих планов. • Обобщает сбор/оценку данных и обоснование подходов к реабилитации (пассивная или активная реабилитация). • Определяет промежуточные или осуществляемые подходы, которые были реализованы или планируются к реализации на площадке. • Рассматривает выбранные реабилитационные мероприятия применительно к защите здоровья человека и окружающей среды. |
| Мероприятия после реабилитации | <ul style="list-style-type: none"> • Документирует эффективность выбранных реабилитационных мероприятий для устранения или смягчения последствий воздействия на человека и экологических рецепторов. • Свидетельствует о том, что были собраны достаточные данные исследований в поддержку выбранных реабилитационных мероприятий. • Подтверждает реализацию должных мер инженерного или ведомственного контроля. • Подтверждает результаты произведенных мероприятий. • Документирует завершение всех этапов реабилитации в соответствии с применимыми законами, регулирующими требованиями и руководствами. • Обосновывает уместность отклонения от применимого регулирования или руководства вследствие особых условий площадки. • Обобщает план мониторинга после реабилитации (когда это необходимо). |

Для разработки реалистичной и полной КМП для потенциально загрязнённой площадки ISO 21365:2019 [7] предлагает пошаговый подход. Пять шагов, которые следует выполнять каждый раз при обновлении КМП, включают:

- определение границ КМП;
- определение известных и возможных загрязнителей и характеристика источника;
- идентификация и характеристика каждого загрязнённого компонента природной среды;
- идентификация потенциальных путей миграции;
- идентификация каждого компонента природной среды, который воздействует на человека и других рецепторов, а также точек такого воздействия.

Различные руководства [7, 10, 11,12] приводят состав информации, требуемой для построения КМП. В самом общем виде её можно представить следующим образом:

- прошлая и текущая деятельность на площадке, включая информацию об обращении с отходами и данные наблюдений (источники и виды загрязнения);
- характер землепользования на площадке и окружающей территории, включая будущее использование (имеющиеся и потенциальные пути воздействия, рецепторы);
- физические характеристики площадки и окружающей территории, такие как топография, геология, гидрогеология, климат, природные явления и др. (распространение загрязнения в окружающей среде и факторы, на него влияющие);
- применимые экологические критерии и стандарты (нормативные требования к реабилитации).

Предполагается, что информация не только позволит описать цепочки «источник - путь - рецептор» для всех путей воздействия, но и даст ключ к пониманию того, какие особенности, события и процессы определяют распространение загрязнения в окружающей среде и влияют на результативность реабилитационных мероприятий. Подробнее об информационных потребностях будет сказано в разделе 3.

Создание КМП образно сравнивается со складыванием пазла, которое начинается со сбора разрозненных фрагментов информации. Чем больше фрагментов открывается, тем более детальной становится картина. Полная КМП включает все составляющие пазла, включая подробную оценку источника, территории, механизмов переноса, потенциальных рецепторов и путей воздействия [16], см. рис. 3-4. Попутно заметим, что рис. 3-4 позаимствованы со специализированного интернет-ресурса Инженерного командования военно-морских объектов США, который адресован обучению КМП, содержит хорошо структурированную информацию и может быть рекомендован для ознакомления.

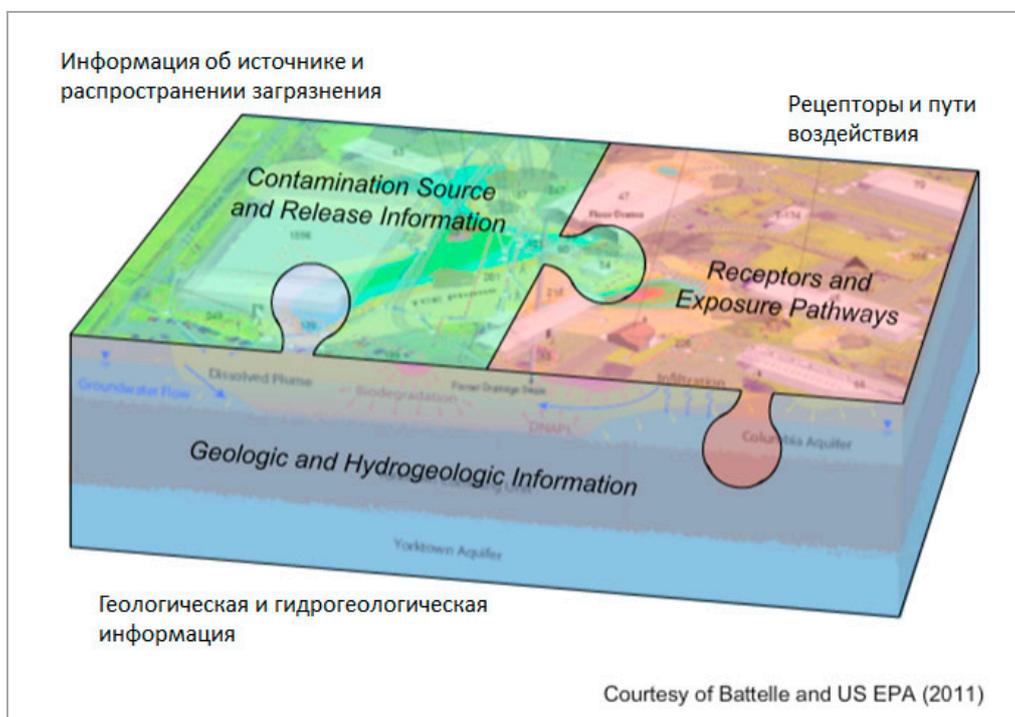


Рисунок 3. КМП в виде крупных блоков информации [16]

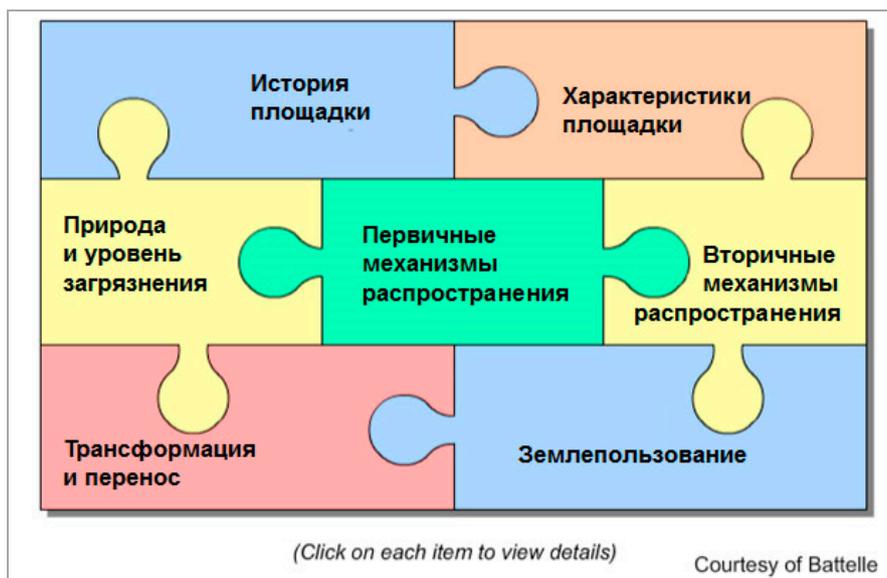


Рисунок 4. Составные элементы КМП [17]

ISO 21365:2019 и другие руководства указывают, что сложность модели должна соответствовать сложности площадки, имеющейся информации и назначению КМП. КМП не должна быть более подробной, чем требуется для решения выполняемой задачи. Для некоторых простых случаев достаточно нескольких слов описания или картинки. Излишняя детализация отнимает ресурсы и приводит к переизбытку информации, а чрезмерное упрощение может дать неверную итоговую картину.

Для построения КМП важно определить её границы, то есть собственно территорию, которая будет описываться с определенной степенью детализации. Это может быть площадка целиком с прилегающей зоной, отдельный участок в границах площадки или несколько площадок, объединенных в одну КМП по какому-либо принципу (сходные проблемы, физическая близость, общая гидрогеология, взаимное воздействие и т.п.). Следует учесть, что источник загрязнения находится, как правило, на самой площадке, а рецепторы могут быть далеко за её пределами.

При выборе границ следует помнить, что КМП не должна детально описывать весь мир вокруг. Она должна описывать часть этого мира в заданных параметрах, т.е. поддерживать процесс принятия решений с учётом временных, финансовых и иных ограничений. Излишне широкий охват с ненужной детализацией отнимает ресурсы и приводит к переизбытку информации, а чрезмерное дробление чревато тем, что общая картина может не складываться.

Приведем такой пример. В США Агентство по охране окружающей среды разрешает делить большие площадки на отдельные операционные участки. Это вполне оправдано с учетом длительности и сложности работ на площадках ядерного наследия. Для каждого операционного участка должна быть своя КМП. Но в некоторых случаях такой подход может не сработать, поскольку не будут учтены все процессы, влияющие на распространение загрязнения в окружающей среде. Например, в зоне 300 на площадке Хэнфорд некоторое время были непонятны причины сохранения уровней загрязнения грунтовых вод ураном после проведения реабилитационных работ в местах обращения с ЖРО. Изначально предполагалось, что источником загрязнения являлись наземные хранилища. Была проведена выемка грунта и засыпка чистым материалом, но концентрации не снижались и при этом колебались с течением времени. Для понимания происходящих процессов потребовалось рассмотреть в КМП более широкую по охвату территорию, что позволило выявить миграцию за счёт периодического обводнения загрязнённой зоны аэрации и оценить влияние обратного притока из реки во время высокого уровня воды [18].

Еще один принцип, заложенный в создание КМП, – это идентификация и учет неопределённостей. Неопределённости могут касаться пробелов в информации, её точности, используемых гипотез или выводов. Так, понимание неполноты данных об имеющемся загрязнении может помочь приоритизировать работы по характеристике площадки. Следует иметь в виду, что помимо выявленных неопределённостей могут быть и те, которые лежат за границами наилучшего представления о площадке в текущий момент (например, природные аномалии или иные особенности, которые никто не мог предположить). Подробнее о том, как эволюционирует КМП по мере накопления информации, можно узнать на примерах раздела 3.

КМП может быть визуализирована в итоговой картинке, таблице или иной наглядной форме, результирующей наиболее важную информацию понятным образом, сочетающим научную корректность и доступность. Это может быть текст, рисунок, таблица, блок-схема, 3D-модель и различные их комбинации, как, на-

пример, в рис. 1. Примеры можно найти практически в любом источнике информации по КМП [2, 6, 10, 12, 15]. Визуализация может быть основана на большом числе наглядного материала, включая карты, схемы, фото, компьютерные модели и графики, при этом формат подбирается с учётом стоящих задач и может меняться по мере необходимости. На рис. 5-6 представлены примеры графической схемы и блок-схемы КМП.

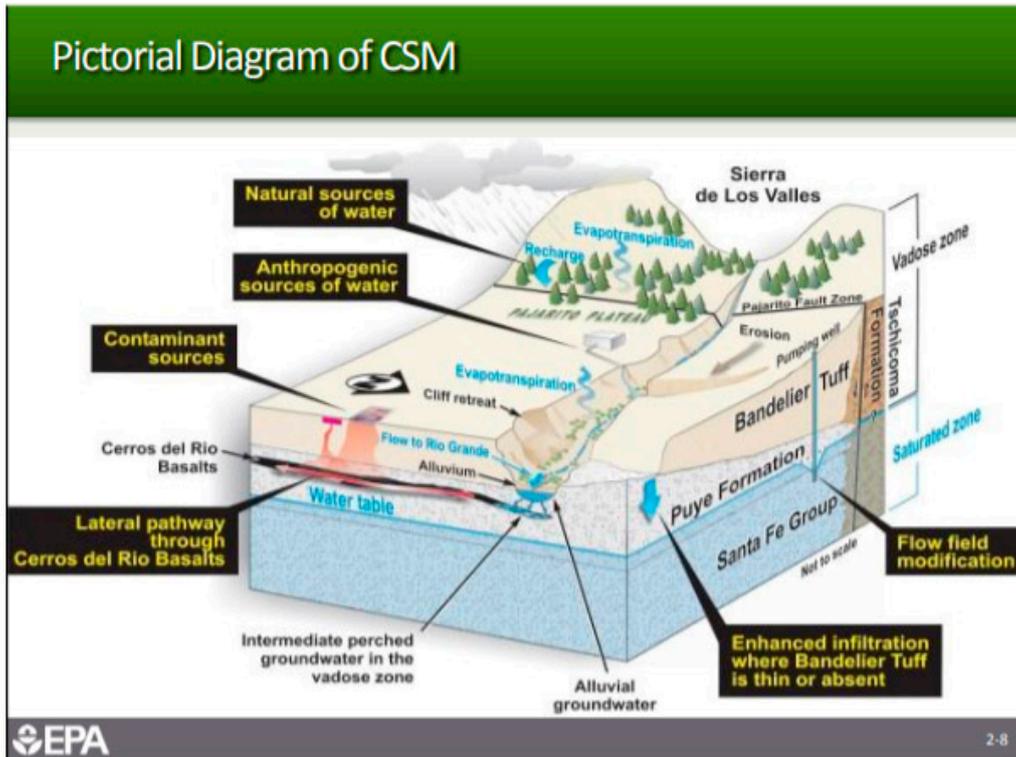


Рисунок 5. КМП в виде графической схемы [19]

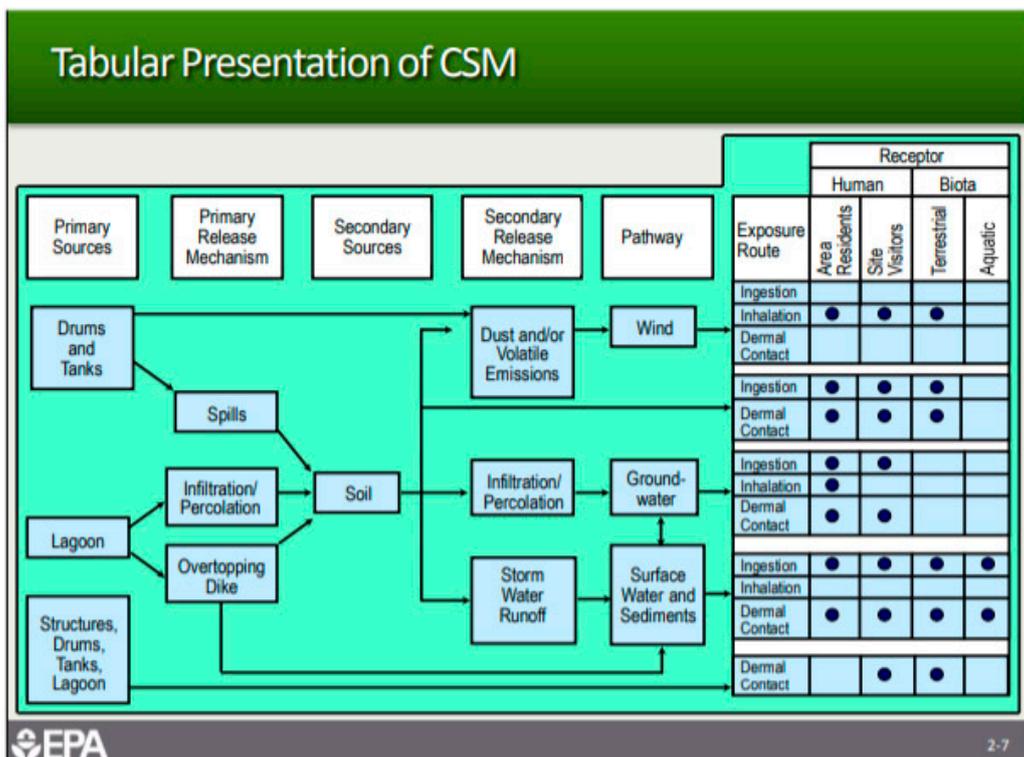


Рисунок 6. КМП в виде блок-схемы [19]

Важным является формализация КМП в качестве отдельного документа. Это позволяет проектной команде, состоящей из представителей различных дисциплин, регуляторам, консультантам, другим заинтересованным сторонам иметь единое общее представление о площадке и решаемых задачах [2, 15]. Особенно подчеркивается значимость такого представления, сочетающего научную корректность, открытость и доступность, для обсуждения неспециалистами и взаимодействия с общественностью.

2 Предварительная КМП для территории, прилегающей к Кирово-Чепецкому химическому комбинату

Покажем построение КМП на примере территории, прилегающей к Кирово-Чепецкому химическому комбинату. Кирово-Чепецкий химический комбинат (КЧХК) получил свое название в 1978 г. после реорганизации, в него входил завод Полимер (в настоящее время – ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк») и завод минеральных удобрений (в настоящее время – филиал «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ»). Радиационно опасные объекты сегодня закреплены за ФГУП «РосРАО» (Кирово-Чепецкое отделение филиала «Приволжский федеральный округ»). Для упрощения в тексте препринта оставляем аббревиатуру КЧХК, поскольку и загрязнение территории, и накопленные объёмы отходов связаны, главным образом, с деятельностью в прошлый период.

Разработка предварительной КМП была начата в рамках Межрегионального практического учебного курса по реализации проектов реабилитации (Пилотный проект школы реабилитации) [4] и была продолжена в ИБРАЭ РАН. В данном разделе препринта представлены цели и основные результаты этой работы.

2.1 Описание проблемы

КЧХК имеет длительную и сложную историю (создан в 1938 г. как предприятие военно-промышленного комплекса – завод №752 для производства фосфора и диаммоний фосфата), отличительной чертой которой является многопрофильный характер производственной деятельности (производство гекса- и тетрафторида урана, изотопов лития, фтор- и хлорорганических соединений, минеральных удобрений), сопровождающейся воздействием на окружающую среду. Экологическая обстановка в районе расположения комбината определяется как наличием хранилищ химических и радиоактивных отходов, так и территорий, загрязнённых в ходе прошлой деятельности. Ситуация осложняется тем, что ниже по течению р. Вятка находится областной центр – г. Киров (рис. 7), и значительная часть прилегающей к КЧХК территории находится в зоне санитарной охраны водозабора г. Кирова. Хранилища химических отходов, не в полной мере изолированные от окружающей среды, являются причиной периодического поступления азота аммонийного в р. Вятку, которая обеспечивает питьевой водой областной центр. Хранилища РАО также рассматриваются как источник потенциальной опасности загрязнения вод р. Вятки.

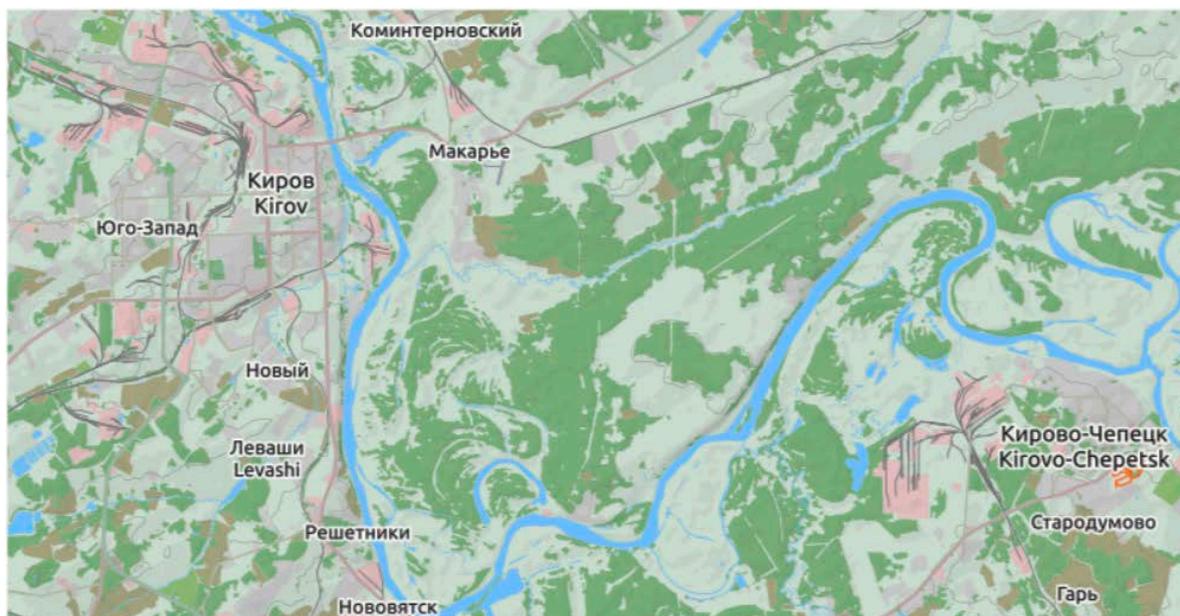


Рисунок 7. Города Кирово-Чепецк и Киров на карте [32]

Трудности обоснования мероприятий по повышению безопасности хранилищ и снижению их воздействия на окружающую среду обусловлены следующими, вполне объективными, причинами:

- неблагоприятными условиями размещения хранилищ отходов (частично затопляемая пойма р. Вятки, высокий уровень грунтовых вод);
- недостатком информации, требуемой для достоверной оценки текущего состояния объектов (степени деградации защитных барьеров) и прогноза его изменения;
- отсутствием ясного понимания гидрогеологических, геохимических, гидродинамических и иных процессов, влияющих на миграцию радионуклидов с подземным стоком;
- ограниченным опытом ведения работ по реабилитации площадок, имеющих загрязнение грунтовых вод.

История деятельности КЧХК и общая оценка радиоэкологической обстановки представлены в монографиях [22, 23]. Производство тетрафторида урана прекращено в 1992 г. Госкорпорацией «Росатом» разработана концепция вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов, расположенных на площадке Полимера (эксплуатирующая организация ФГУП «РосРАО») [24]. В 2016 г. завершено устройство многофункционального защитного покрытия хранилищ РАО на площадке Полимер (рис. 8). На период до 2030 г. планируется продолжение работ по выводу из эксплуатации остановленных объектов и создание дополнительных инженерных барьеров безопасности пунктов хранения РАО.



Рисунок 8. Работы по устройству многофункционального защитного покрытия [25]

Радиоактивное загрязнение территории, прилегающей к КЧХК, связано с прошлой деятельностью. На рассматриваемой территории изучены отдельные участки с предположительно значимым радиоактивным загрязнением поверхностного слоя почвы. Наиболее загрязнённая территория приурочена к пойме р. Елховки, а также техногенным отложениям на дне и береговой линии оз. Просное.

Радиоактивное загрязнение грунтовых вод обнаружено в пойме р. Вятки на территории шламового хозяйства и в долине р. Елховки. Внешнее облучение обусловлено естественным фоном 0,08 мкЗв/ч и уровнями загрязнения верхнего слоя почвы ^{137}Cs . В отдельных местах на берегу оз. Просное мощность дозы составляет 1,1 мкГр/ч. В почве, грунтовых и поверхностных водах, донных отложениях присутствуют ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{232}Th , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{238}U и продукты его распада. Оценка запасов накопленных радионуклидов в компонентах природной среды выполнена в работе [26].

В рамках объектового мониторинга КЧХК с определённой периодичностью проводится отбор проб воды, грунта, донных отложений и растительности в русле Елховки, у оз. Просное и т.д. Кроме того, измерения и исследования осуществляются другими организациями в рамках отдельных проектов. Имеющиеся данные не дают развернутой картины радиоактивного загрязнения компонентов природной среды и объектов биоты на интересующей нас территории, но их вполне достаточно для проведения расчётов в

рамках настоящей работы. В рамках объектового мониторинга содержание радионуклидов в рыбе, обитающей в оз. Просное, не измеряется, оценки нами получены расчётным путём.

Целями создания предварительной КМП КЧХК являлись: 1) оценка радиационного риска, представляемого территорией, прилегающей к площадке КЧХК и включающей русло реки Елховка и озеро Просное; 2) предварительные выводы о необходимости или отсутствии необходимости реабилитации загрязнённых участков на данной территории по радиологическим показателям; 3) отработка создания КМП и проверка работоспособности этого инструмента.

Основными источниками информации для КМП стали официальные документы [24, 27], публикации [22, 23, 28], отчёты о результатах исследований [26, 29, 30], материалы ГИС [31, 32]. Территория, прилегающая к КЧХК, и границы КМП КЧХК схематически представлены на рис. 9 (использован ресурс <http://openstreetmap.ru>).

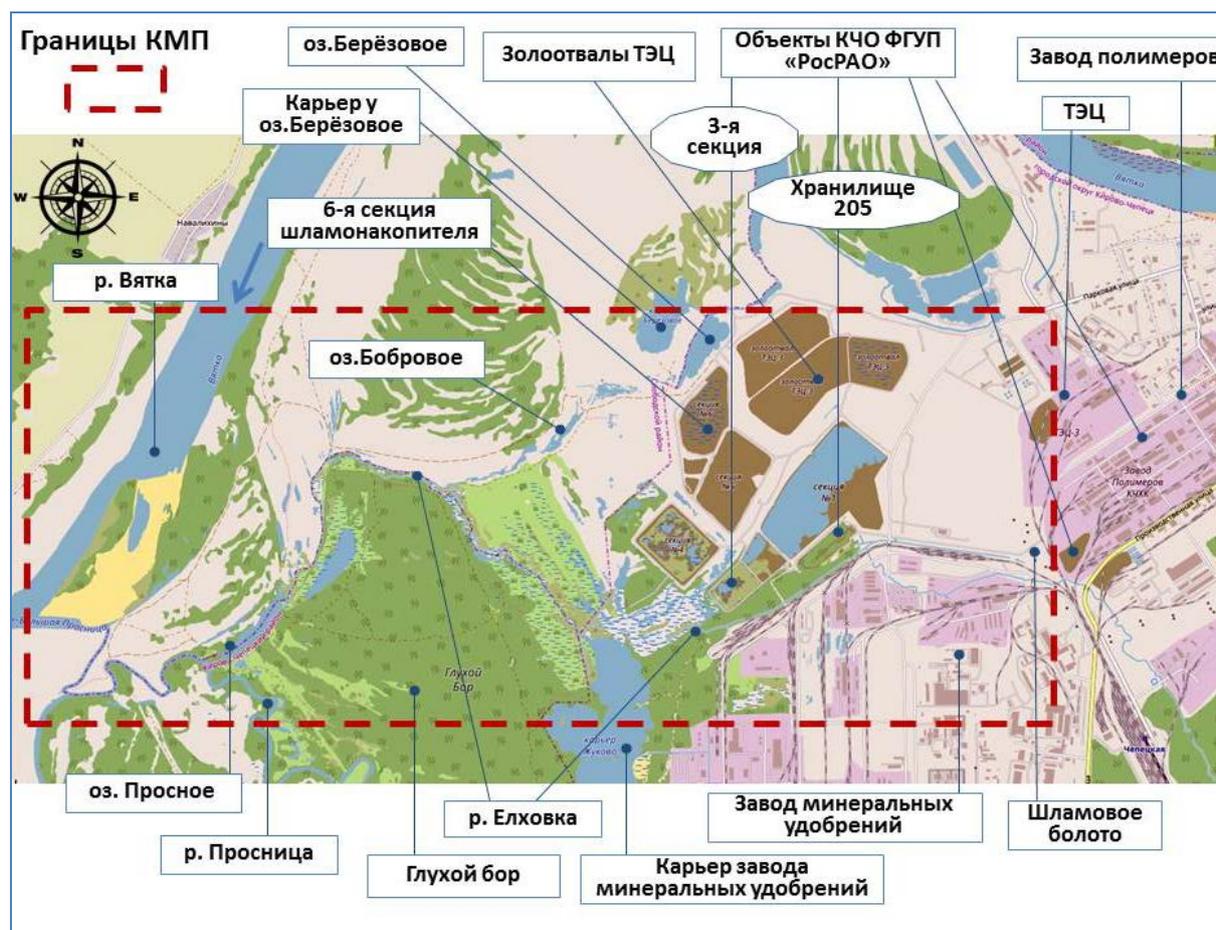


Рисунок 9. Схема расположения объектов КЧХК и прилегающей территории [32]

2.2 Сценарии использования территории

Расположенный на возвышении лесной массив Глухой бор относится к землям лесного фонда, для этого участка согласно данным публичной кадастровой карты разрешённое использование включает сельскохозяйственное использование, отдых (рекреацию), производственную деятельность и др. (рис. 10). На рассматриваемой территории на кадастровый учет также поставлены многочисленные участки площадью 50 м² для размещения и обслуживания мониторинговых скважин. Для отдельных небольших участков за пределами КЧХК в сторону р. Вятки по данным кадастровой карты указано сельскохозяйственное назначение. Для остальной территории вдоль русла р. Елховки характер землепользования не определен и, на наш взгляд, она вряд ли будет в обозримом будущем востребована для постоянного проживания в силу нахождения в затопляемой пойме (см. рис. 11).

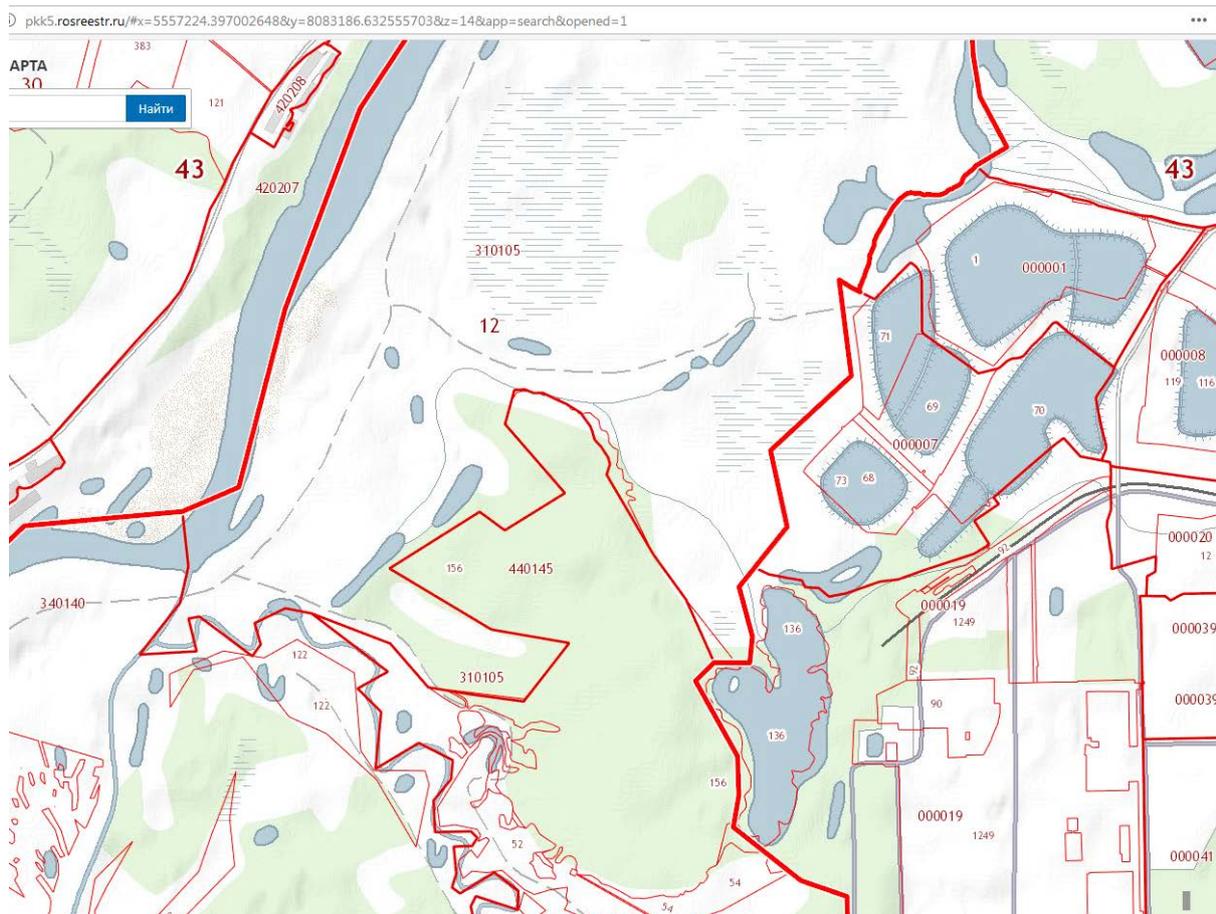


Рисунок 10. Фрагмент кадастровой карты территории, прилегающей к КЧХК [31]



Рисунок 11. Русло реки Елховки у оз. Просное во время половодья, весна 2012 г. [33]

Для описания «источник – путь – рецептор» были сформулированы сценарии использования территории. В настоящее время осуществляется контролируемый доступ на территорию хранилищ РАО и заводских промплощадок, т.е. нахождение там лиц из населения не предполагается. Объектовый мониторинг КЧХК проводится с определенной периодичностью, статус хранилищ потребует мониторинга прилегающей территории в течение длительного времени. Поэтому в качестве одного из рецепторов был

выбран работник предприятия, занятый отбором проб и обслуживанием наблюдательных скважин на рассматриваемой территории, т.е. пробоотборщик. Сценарий облучения предусматривает отбор проб в период с февраля по ноябрь, при этом наибольшее число часов работы приходится на теплое время года. Мы исходим из предположения, что на интересующей нас местности пробоотборщик проводит 200 часов в год, при этом 1/10 времени (20 часов) он находится в машине, 9/10 времени (180 часов) – в полевых условиях (на земле).

На территории за пределами хранилищ бывают пешие туристы, велосипедисты, рыбаки. В качестве второго рецептора выбран местный житель, который занимается рыбной ловлей. Выбор данного рецептора обусловлен необходимостью оценить пероральное поступление радионуклидов в организм в дополнение к другим путям облучения, характерным для иных посетителей территории. Сценарий для рыбака предусматривает пятичасовую рыбалку с берега раз в неделю в течение 21 недели (105 часов в год) и потребление 40 кг рыбы, выловленной в оз. Просное (все 40 кг представлены съедобной частью рыбы). Отметим, что на моторной лодке попасть на оз. Просное можно только в период половодья, чем пользуются браконьеры (рис. 12-13).



Рисунок 12. Озеро Просное во время половодья, весна 2013 г. [33]



Рисунок 13. Одна из браконьерских точек на берегу, весна 2016 г. [33]

КМП КЧХК визуализирована на рис. 14. Рассматриваются следующие пути формирования доз облучения (рис. 15):

Пробоотборщик:

- внешнее облучение от поверхностного загрязнения почвенного покрова,
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов;

Рыбак:

- внешнее облучение от поверхностного загрязнения почвенного покрова,
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радионуклидов,
- внутреннее облучение за счет перорального поступления радионуклидов с рыбой.

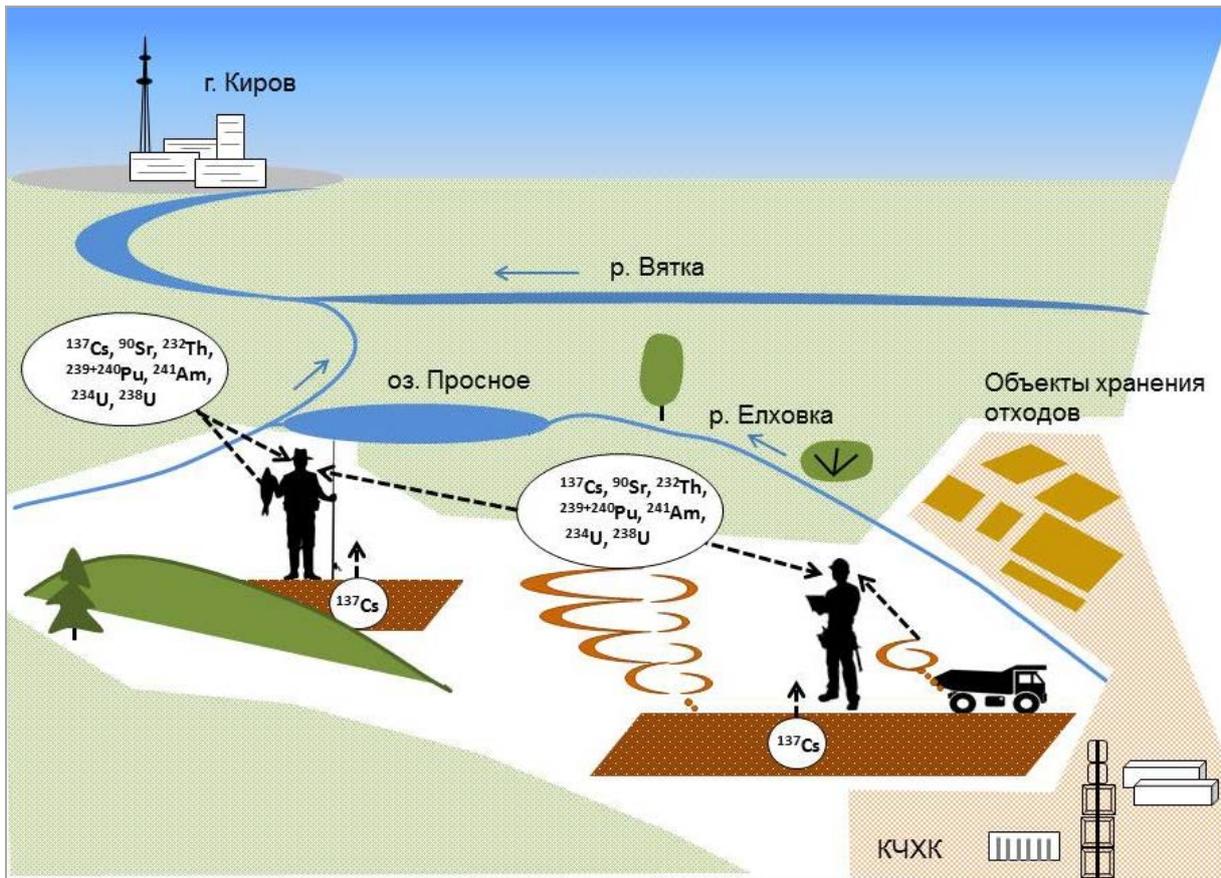


Рисунок 14. Схематическое представление КМП КЧХК

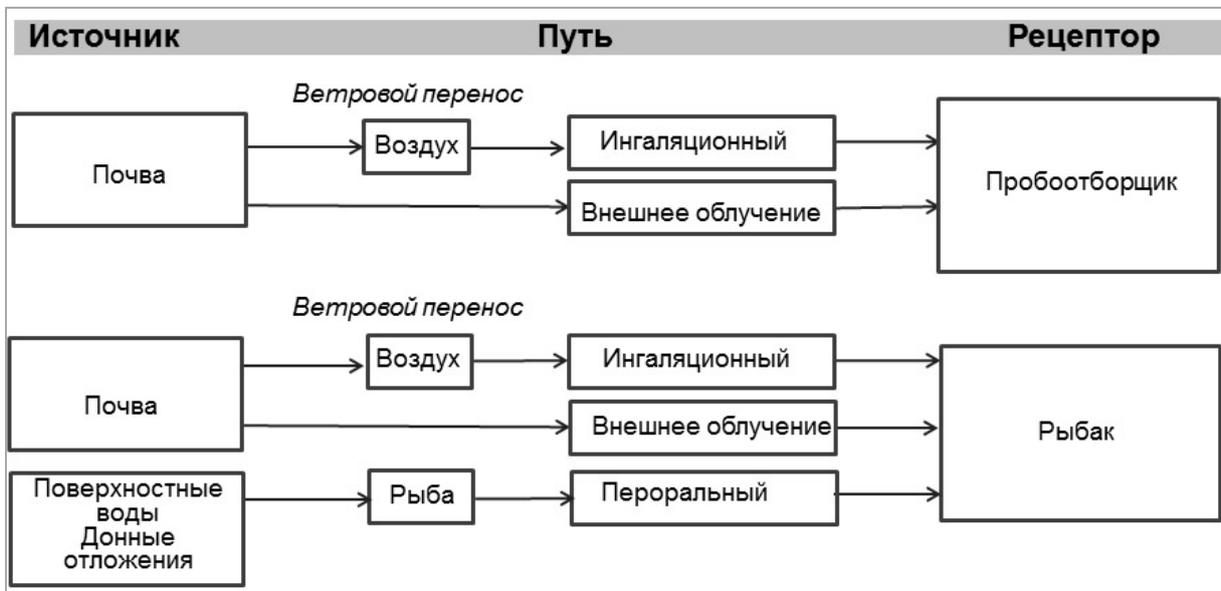


Рисунок 15. КМП КЧХК: описание «источник – путь – рецептор» для двух сценариев использования территории

2.3 Результаты расчётов доз облучения

В качестве исходных параметров для расчётов используются:

- данные по уровням загрязнения радионуклидами почвы на всей территории пробоотбора;
- два сценария подъема пыли в воздух: типичный (скорость приземного ветра ≈ 3 м/с¹, коэффициент дефляции радиоактивной пыли с подстилающей поверхности для лесостепной дозы консервативно принят равным $1 \cdot 10^{-9}$ м⁻¹ [34]) и неординарные²: порыв ветра со скоростью ≈ 13 м/с и длительностью 30 с, когда с верхнего слоя почвы может подняться в воздух около 0,1 % активности радионуклида от содержания в 0-5 см почвенного покрова [35], и подъём пыли автотранспортом (только для пробоотборщика);
- оценки концентрации радионуклидов в рыбе из оз. Просное (выполнены на основе данных по концентрации радионуклидов в донных отложениях).

Внешнее облучение. Данные по уровням загрязнения ¹³⁷Cs почвы на рассматриваемой территории показывают сложную пятнистую картину, изменяясь от 5 до 4400 Бк/кг. В пределах площади Елховка - Просное загрязнена прибрежная полоса первоначального контура озера Просное шириной от 8 до 140 метров, а также пойма р. Елховки на протяжении 1,6 км вверх по течению от первоначального устья. Ширина зоны загрязнения в пойме Елховки составляет 60÷110 м. Общая площадь около $3,95 \cdot 10^5$ м² (около 40 га). Уровни загрязнения различными радионуклидами представлены в табл. 4.

Таблица 4. Удельные активности радионуклидов в пробах грунта (в пересчёте на 2019 год)

| Радионуклид | Единицы измерения | Значение | | | Количество измерений |
|-----------------------|-------------------|----------|------|---------|----------------------|
| | | мин | макс | среднее | |
| ¹³⁷ Cs | Бк/кг | 5 | 4400 | 583 | 163 |
| ⁹⁰ Sr | Бк/кг | <50 | 410 | 68 | 15 |
| ²³² Th | Бк/кг | 34 | 82 | 54 | 6 |
| ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu | Бк/кг | 4 | 3100 | 385 | 13 |
| ²⁴¹ Am | Бк/кг | 2 | 100 | 65 | 19 |
| ²³⁴ U | Бк/кг | <2 | <5 | - | 3 |
| ²³⁸ U | Бк/кг | <3 | 12 | 10 | 3 |

На основе данных, представленных в табл. 5, для пробоотборщика средневзвешенная мощность дозы за счёт ¹³⁷Cs оценивается нами величиной в 0,37 мкГр/ч, дополнительная доза внешнего облучения пробоотборщика составит 52,7 мкЗв/год.

Таблица 5. Классификация территории вокруг КЧХК по мощности дозы

| Параметр | Принятые в расчётах значения на 2019 г. | | |
|--|---|-------|--------|
| Диапазон мощности дозы по результатам измерений, P _γ , мкГр/ч | 0,2-0,5 | 0,5-1 | 1-3,35 |
| Площадь, га | 29,45 | 15,11 | 0,24 |
| Средняя мощность дозы за счёт ¹³⁷ Cs, P _γ , мкГр/ч | 0,24 | 0,62 | 1,2 |

Для рыбака внешнее облучение, как и в сценарии с пробоотборщиком, обусловлено естественным фоном и уровнями загрязнения верхнего слоя почвы ¹³⁷Cs. При типичной для рассматриваемой территории плотности загрязнения ¹³⁷Cs в 350 кБк/м² мощность поглощенной в воздухе дозы от этого радионуклида на высоте 1 м от уровня земли составит 280 нГр/ч [29]. В отдельных местах на берегу оз. Просное мощность примерно в 4 раза выше и составляет 1,1 мкГр/ч. В качестве реалистичной оценки (с учетом частичного захода рыбака в воду и перемещений на местности) нами использовано среднее значение дополнительной мощности дозы от ¹³⁷Cs в 0,45 мкГр/ч. При пребывании на этой местности в течение 105 часов в год дополнительная доза внешнего облучения рыбака составит ≈ 47 мкЗв/год.

Ингаляционный путь. Для оценки ингаляционной дозы пробоотборщика мы полагаем, что в период работы отмечается нормальная погода без сильных дождей, с единственным порывом ветра силой 13 м/с и длительностью порыва 30 с. Кроме того, при переезде с места на места в кабине отмечается повышенная запыленность за счёт поднятой машиной пыли. Значение коэффициента дефляции увеличивается при этом на порядок величины. Суммарная ингаляционная доза пробоотборщика составит $\approx 0,7$ мкЗв/год.

¹ По данным метеонаблюдений средние за год скорости ветра образуют ровное спокойное поле значений в интервале от 2 до 4,5 м/с. В летнее время средние скорости чуть ниже и составляют 3-3,3 м/с.

² Повторяемость таких событий в летнее время не превышает 0,1 %.

Более подробно покажем расчёт ингаляционной дозы для рыбака. Полагаем, что во время рыбалки отмечается нормальная погода без сильных дождей, с единственным порывом ветра силой 13 м/с и длительностью порыва 30 с. Вклад в дозу отдельных радионуклидов представлен в табл. 6. Верхняя оценка ингаляционной дозы не превышает 0,4 мкЗв/год, при этом на 87% она обусловлена ^{239}Pu и на 12% – ^{241}Am .

Таблица 6. Оценка доз облучения рыбака при ингаляционном поступлении радионуклидов

| Радионуклид | Доза, Зв/год | Вклад в дозу, % |
|-----------------------|--------------|-----------------|
| ^{137}Cs | 4,70E-11 | 0,012 |
| ^{90}Sr | 6,00E-11 | 0,015 |
| ^{232}Th | 8,65E-12 | 0,002 |
| $^{239+240}\text{Pu}$ | 3,39E-07 | 87,44 |
| ^{241}Am | 4,80E-08 | 12,38 |
| ^{238}U | 5,98E-10 | 0,15 |
| Сумма | 3,88E-07 | 100 |

Пероральный путь. Для оценки внутренней дозы облучения от потребления рыбы предполагаем, что годовой рацион рыбака включает 40 кг рыбы, выловленной в оз. Просное (в наших расчётах принимаем, что все 40 кг представлены съедобной частью рыбы в сыром виде). Также исходим из предположения, что средняя естественная рыбопродуктивность в данном водоёме составляет 150 кг с 1 га в год. За время деятельности КЧХК оз. Просное заполнилось техногенными отложениями и существенно сократилось в объёме воды [23]. В настоящее время озеро продолжает мелеть, значительная часть берега заболочена, площадь зеркала составляет около 10 га. Годовой прирост рыбы для рассматриваемого водоёма не превышает 1500 кг/год. Посещаемость озера невысокая. В отсутствии прямых измерений консервативно оценим содержание радиоактивных элементов в выловленной рыбе. Воспользуемся для этого, прежде всего, методическими приёмами из Руководства по разработке нормативов допустимых сбросов [37].

В качестве входных данных для расчёта концентрации радионуклидов в рыбе среди ограниченных и отчасти противоречивых данных по загрязнению экосистемы озера будем использовать общие запасы ^{137}Cs в донных отложениях на 2009 г., составляющие примерно 300 ГБк [26] и объёмный вес илов, содержащих радионуклиды, – 280 тыс. т. С учётом радиоактивного распада средняя концентрация ^{137}Cs составила в 2019 г. 690 Бк/кг. Это значение близко к измеренным уровням этого нуклида в почве поймы р. Елховки и вблизи оз. Просное, на затопляемой во время паводка территории, а также в донных отложениях в период до 2007 г. [26]. Однако это значение примерно в 5–9 раз выше, чем дают результаты радиационного контроля почвы в этом районе за период 2010–2012 г. (от 30 до 240 Бк/кг ^{137}Cs , при среднем значении 100 Бк/кг) [24]. По-видимому, причиной этого являлся отбор свежих наносов, которые были менее загрязнёнными. Нами выбрано более консервативное значение уровня загрязнения донных отложений из озера. Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ оценивалось исходя из соотношения на 2003 г.: $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs} = 0,45$. Отметим, что в исследованиях 2012 г. [29] было получено для этой территории несколько большее значение, равное 0,7, что частично связано с распадом ^{137}Cs . Из других радионуклидов значимость имеет ^{90}Sr , концентрация которого в донных отложениях нами оценивалась из полученных ранее результатов по соотношению: $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs} = 0,1$.

Наибольшую неопределённость в итоговую оценку дозы вносит переход от концентрации $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях к концентрации этого нуклида в воде. Здесь разрыв между минимальным значением $K_{D,\min}(\text{Pu})=0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$ и максимальным $K_{D,\max}(\text{Pu})=20000 \text{ м}^3/\text{кг}$ составляет 5 порядков величины [38]. В отечественном нормативном документе [37] принято значение $K_D(\text{Pu})=240 \text{ м}^3/\text{кг}$, такое же, как в документе МАГАТЭ № 472 [39]. В наших расчётах также использовано значение $K_D(\text{Pu})=240 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Еще одну неопределённость вносят коэффициенты перехода от концентрации радионуклида в воде к концентрации в рыбе – CR . Так, значение CR для Pu в отечественном документе [37] – 21000 л/кг соответствует документу МАГАТЭ [39] и приведено для съедобной части. При этом в [39] отмечается, что данное значение получено по 3 пробам с разбросом значений от 7700 до 50000 л/кг. В более позднем обзоре [40] анализируются данные 8-и исследований с общим числом проб 73. Среднее значение $CR=78 \text{ л/кг}$ с разбросом от 0,04 до 700 л/кг. Это же значение $CR(\text{Pu})$ вошло в технический документ МАГАТЭ № 479 [41]. Широко известный инструментарий для расчёта доз на биоту ERICA, основываясь на 45 исследованиях, даёт значение $CR(\text{Pu})=60 \text{ л/кг}$ как для пелагических рыб, так и для донных. Можно предполагать, что в публикации МАГАТЭ № 472 [39] и вслед за ней в Руководстве по разработке нормативов допустимых сбросов [37] допущена опечатка. В наших расчётах мы приняли значение $CR(\text{Pu})=60 \text{ л/кг}$.

Важный момент в оценке доз облучения рыбака связан с выбором значения CR для ^{90}Sr , поскольку существуют значимые различия между накоплением этого нуклида во всем организме рыб и в съедобной час-

ти. Нами для расчётов использовано значение для донной пресноводной рыбы $CR(Sr)=1300$ л/кг для организма в целом и в 38 раз меньшее значение для концентрации ^{90}Sr в съедобных тканях, т.е. $CR_m(Sr)=34$ л/кг [41]. В отношении дозообразующего элемента ^{137}Cs , несмотря на самый большой собранный эмпирический материал, можно сказать, что и для него неопределённость, заложенная в коэффициенте накопления, достаточно велика: диапазон значений $CR(Cs)$ составляет от 13 до 82000 л/кг [41]. Нами использовано среднее значение для донной рыбы $CR(Cs)=1000$ л/кг [41]. Результаты расчётов дозовой нагрузки на рыбака от потребления рыбы, выловленной в озере Просное, представлены в табл. 7. Оценка пероральной дозы составляет 20,8 мкЗв/год, при этом на 52% она обусловлена ^{137}Cs и на 26% – ^{90}Sr .

Таблица 7. Оценка доз облучения рыбака при потреблении 40 кг рыбы, выловленной в оз. Просное

| Радионуклид | Доза, Зв/год | Вклад в дозу, % |
|----------------|--------------|-----------------|
| ^{137}Cs | 1,08E-05 | 52,0 |
| ^{90}Sr | 5,37E-06 | 25,8 |
| ^{232}Th | 1,76E-09 | 0,01 |
| $^{239+240}Pu$ | 1,67E-06 | 8,0 |
| ^{241}Am | 1,99E-06 | 9,6 |
| ^{238}U | 9,51E-07 | 4,6 |
| Сумма | 2,08E-05 | 100 |

Оценки дополнительных доз облучения пробоотборщика и рыбака за счёт всех путей облучения представлены в табл. 8.

Таблица 8. Оценки суммарных доз облучения в рамках КМП КЧХК

| Путь воздействия | Доза, мкЗв/год |
|-------------------------------------|----------------|
| Пробоотборщик | |
| Внешнее облучение | 52,7 |
| Внутреннее облучение: ингаляционное | 0,7 |
| Сумма | 53,4 |
| Рыбак | |
| Внешнее облучение | 47,0 |
| Внутреннее облучение: ингаляционное | 0,4 |
| Внутреннее облучение: пероральное | 20,8 |
| Сумма | 68,2 |

Таким образом, проведенные расчёты показывают, что даже при консервативных предположениях дозы облучения для двух сценариев текущего использования территории составляют менее 0,1 мЗв/год. Эти уровни показывают отсутствие необходимости в реабилитации рассматриваемой территории по радиационным признакам.

При отсутствии работ, связанных с нарушением целостности почвенного покрова с возможным выносом на поверхность депонированной активности, дозы внешнего облучения, определяемые ^{137}Cs , будут снижаться за счёт естественного распада. Дозы внутреннего облучения от потребления рыбы, в настоящее время почти на 80% определяемые ^{137}Cs и ^{90}Sr , также будут иметь тенденцию к снижению.

О неопределённости в оценке доз. Нами взяты в качестве исходных данных консервативные расчётные значения мощности дозы на рассматриваемой территории, фактические значения могут быть кратно ниже. Сценарий, связанный с потреблением рыбы, также консервативен как в части исходных предположений (регулярная рыбалка в оз. Просное, при том, что местные жители часто рыбачат на р. Проснице), так и расчётов. Например, доза внутреннего облучения за счёт потребления рыбы почти на 10% обусловлена ^{241}Am , в то время как по данным [29] ^{241}Am ни разу не был обнаружен в донных отложениях и грунтовых водах за пределами промплощадки. Неопределённость в части содержания определённых радионуклидов и их концентраций в рыбе можно, при необходимости, снизить путём прямых измерений.

В анализируемых сценариях дозы облучения наиболее чувствительны к такому фактору, как продолжительность пребывания на территории, при этом наш вывод об отсутствии необходимости реабилитации остаётся неизменным вследствие низких уровней доз. При допущении, что пробоотборщик проводит половину годового рабочего времени (1000 часов) на рассматриваемой местности, его доза облучения может составить около 267 мкЗв/год, что также не предполагает необходимости реабилитировать территорию, учитывая, в особенности, консерватизм оценок.

2.4 Перспективы использования КМП КЧХК

Полученные результаты позволяют констатировать, что предварительная КМП КЧХК оказалась простым в разработке и работоспособным инструментом, соответствующим поставленным целям.

Предварительная КМП КЧХК может использоваться для верификации и уточнения оценок доз облучения по мере получения новой информации и для разработки других сценариев настоящего и будущего использования территории с проведением соответствующих расчётов. Рассмотренные сценарии могут служить в качестве референтных для указанной территории.

Также предварительная КМП КЧХК является примером подхода к рассмотрению целесообразности и безопасности различных работ в случае планов их проведения на указанной территории. Земляные работы в русле р. Елховки и в районе оз. Просное могут существенно увеличить миграцию радионуклидов вследствие дополнительного обводнения и переноса депонированной активности. Такие работы должны выполняться на основе принципа обоснования с проведением соответствующих расчётов.

Для поставленных целей не требовалось углублённое рассмотрение процессов миграции радионуклидов из хранилищ РАО с грунтовыми водами. Вместе с тем, эти процессы могут быть значимыми или даже определяющими для обеспечения безопасности хранилищ РАО и их перевода в пункты захоронения. Если потребуется ограничить миграцию радионуклидов с грунтовыми водами и их попадание в р. Елховку, может быть рассмотрен вариант сооружения проницаемого барьера, материал для которого выбирается на основе тестов на выщелачивание (предложение Д. Велман (Dawn Wellman)³ в ходе обсуждения предварительной КМП КЧХК).

Прогнозы распространения радионуклидов из ореолов вокруг секции 3 и хранилища 205 с разгрузкой в р.Елховка и дальнейшей миграцией с поверхностными водами р.Волошки и р.Вятки к водозабору г. Киров выполнялись в ИБРАЭ РАН и описаны в [23, 26]. Расчёты на 50-летний период показали отсутствие угрозы радиоактивного загрязнения для водозабора областного центра. Более серьёзной проблемой, в особенности в период половодья, является загрязнение поверхностных и грунтовых вод азотом аммонийным вследствие поступления его из шламохранилищ. За период 2000-2016 гг. превышение ПДК по этому веществу у водозабора г. Киров фиксировалось во все годы, кроме 2007-2008 гг. и 2013-2015 гг. [27].

Подход на основе КМП позволяет вовлечь в анализ и другие факторы, которые могут оказаться значимыми с точки зрения переноса загрязнений. Так, по результатам измерений в 2014 г. у секции 3 и хранилища 205 отмечены изменения среднегодового уровня грунтовых вод по сравнению с другими годами измерений, и выдвинуто предположение, что возможной причиной стало прекращение подпора воды со стороны секции шламонакопителя № 1 в связи с её ликвидацией [30]. Изменение гидродинамических потоков называется в качестве вероятной причины повышения концентраций активности урана в скважинах в районе хранилища 205 [30]. На сегодняшний день не оценено воздействие, которое паводок, возможно, оказывает на скорость и направление движения грунтовых вод, в том числе не ясно, является ли он фактором, способствующим стабилизации ореолов радиоактивного загрязнения. В долгосрочной перспективе важно также понимать динамику средних многолетних и сезонных значений уровней поверхностных вод р. Вятка. При наличии тенденции к обмелению и снижению скорости течения паводковые воды могут находиться в затопляемой пойме р.Вятки более продолжительное время. Отметим, что рекомендации организовать водомерные посты поверхностных вод и проводить замеры уровней поверхностных и грунтовых вод одновременно содержались в [30].

Развитие КМП КЧХК, в том числе за счёт включения в рассмотрение территорий промплощадки и шламового хозяйства, может быть востребовано для планирования деятельности по выводу из эксплуатации объектов КЧХК, консервации шламохранилищ, улучшения объектового мониторинга, а также для оценки результативности уже выполненных работ. Так, в 2016 г. были завершены работы по устройству многофункционального защитного экрана хранилищ РАО на площадке завода полимеров, предотвращающего проникновение атмосферных осадков. Подход на основе КМП способствовал бы планированию постреабилитационных мероприятий, например, проведению соответствующих измерений для понимания того, является ли защитный экран эффективным решением для снижения миграции радионуклидов из хранилищ и как его устройство повлияло на потоки грунтовых вод и концентрации активности. По имеющимся данным [30] сезонное колебание уровней грунтовых вод на площадке завода полимеров выражено слабо, а локально поток грунтовых вод от хранилищ РАО идёт в юго-западном направлении в сторону р.Елховка (такое же направление имеет поток у 3-й секции шламохранилища и хранилища 205). Полученные оценки, если бы такие постреабилитационные мероприятия были запланированы, позволили бы обосновать и, возможно, скорректировать дальнейшие планы по консервации 3-й секции шламохранилища, так как предполагается [42], что конструкция барьеров защитного покрывающего экрана аналогична предусмотренной для хранилищ РАО. Определённый интерес также представляют оценки воз-

³https://energyenvironment.pnnl.gov/staff/staff_info.asp?staff_num=860

возможных изменений поверхностного стока с территории, покрытой защитным экраном, в том числе с учётом возможного дополнительного обводнения отдельных участков, находящихся ниже по рельефу (например, шламового болота).

Отметим ещё одно преимущество. Создание КМП значительно облегчает интерпретацию разнообразной информации в контексте общих целей и задач, в особенности, если работы по тем или иным направлениям ведутся разными организациями. Её поддержание в актуальном состоянии позволяет опираться на достигнутые результаты, подтверждать выводы, следить за появлением новых данных, выявлять возможные несоответствия и пробелы и, в конечном счёте, эффективнее обеспечивать сопровождение площадки и процесс принятия решений. В качестве иллюстрации приведём следующий пример. В работе, адресованной созданию геофильтрационных и геоимитационных моделей территории, прилегающей к КЧХК [43], используются данные об эксплуатации секций хвостохранилищ со ссылкой на работу 2007 г. Эти данные отчасти устарели: в [43] говорится о том, что секция №1 находится в эксплуатации, а в [30], опирающейся на данные 2014 г., отмечается, что эксплуатация прекращена.

3 Примеры зарубежных руководств по КМП

Использование КМП может предписываться регулируемыми требованиями. Существует большое число руководств по КМП, которые разработаны для поддержки регулирующей деятельности по реабилитации. Как правило, они находятся в тесной взаимосвязке с другими документами, адресованными исследованию загрязнённых участков, отбору проб и др. Приведём примеры трёх руководств по КМП, которые действуют на региональном уровне. Руководство по КМП штата Огайо (США) – это пример краткого документа без технических подробностей, оно объясняет скорее философию подхода, а за остальным отсылает к другим источникам. Руководство по КМП штата Нью-Джерси (США), напротив, насыщено техническими деталями и подходит к вопросу по принципу «ничего не упустить». Руководство канадской провинции Британская Колумбия даёт пример использования КМП для целей, не связанных с реабилитацией, в данном случае это получение разрешений на сбросы добывающими предприятиями.

3.1 Руководство по КМП штата Огайо (США)

В Руководстве «Концептуальные модели площадок» Агентства по охране окружающей среды штата Огайо (США) [44] (далее – Руководство шт. Огайо), занимающем всего 9 страниц, удачно отражены практические моменты, которые помогают лучше понять назначение КМП и её облик. Подчеркивается, что принципиальным является разработка формализованной КМП (т.е. её наличие в письменном виде), это гарантирует, что само Агентство, ответственные за проведение очистки лица, консультанты и другие стороны понимают площадку одинаковым образом. В отсутствие такой официальной КМП, корректно воспроизводящей условия площадки, каждый из членов проектной команды (заинтересованных сторон) может руководствоваться своей «неформальной» КМП, т.е. собственным видением. Это чревато недопониманием и разногласиями, потерями времени и ростом проектных затрат.

Отмечается, что для разработки и применения КМП важны три критерия. Во-первых, КМП должна быть системным инструментом планирования на всех этапах проекта реабилитации, начиная с первоначальной оценки площадки и далее на всём протяжении, включая использование участка после его реабилитации.

Во-вторых, КМП необходимо обновлять с получением новых данных в процессе исследования площадки, разработки и реализации реабилитационных мероприятий. Точность КМП повышается по мере заполнения имеющихся пробелов.

В-третьих, КМП должна быть отдельным документом на протяжении всего проекта, который доступен всем членам проектной команды, а также заинтересованным сторонам. КМП может являться приложением к другим документам, например, технико-экономическому обоснованию, но её отдельные составляющие не должны быть разбросаны по многим местам.

Указаны следующие часто возникающие проблемы, которых следует избегать:

- видение КМП как административной задачи вместо инструмента систематического планирования;
- использование слишком общих моделей, которые недостаточно учитывают особенности площадки и потому не могут быть с пользой применены для прогнозирования её состояния;
- использование излишне детальных моделей, которые представляют данные о площадке, а не основанную на их анализе краткую выжимку;
- раздробление КМП на отдельные компоненты в разных документах (или отсутствие КМП как отдельного документа).

В отношении того, как должна выглядеть КМП, отмечено следующее. КМП состоит из сжатой графической и письменной информации, которая описывает условия площадки понятным для всех заинтересованных сторон образом. При этом КМП должна чётко отделять известную информацию о площадке от гипотетических предположений. Рекомендуется представлять КМП так, как это описано в стандарте ASTM [10], включая визуальное изображение, блок-схему «источник – путь – рецептор», краткое описание (текущие условия и история площадки, характеристика источника загрязнения, описание путей миграции, указание на пробелы в данных), а также, при необходимости, карты, таблицы и рисунки. Подчеркивается, что нет необходимости включать в КМП обосновывающие данные, которые должны приводиться в отчётах об исследовании площадки и других документах.

В Руководстве шт. Огайо также представлен чек-лист для разработки КМП, который является адаптированной для штата версией чек-листа Агентства по охране окружающей среды США (табл. 9). Подчёркивается, что КМП является обязательной в рамках программ очистки, осуществляемых по двум законодательным актам США (CERCLA и RCRA), а также для участия в Программе добровольной очистки штата Огайо. Сам чек-лист может использоваться в добровольном порядке при подготовке КМП в рамках указанных программ. Отмечается, что не все приведённые в нём критерии могут быть применимы к конкретному проекту.

Таблица 9. Чек-лист по КМП из Руководства шт. Огайо

| ЧЕК-ЛИСТ КРИТЕРИЕВ КМП (U.S.EPA 2011 LifeCycleCSM, Stage # _____) | | | |
|---|--|--------------------------------|-------------------------------------|
| КРИТЕРИИ КМП | | Применимо к данной стадии КМП? | Достаточно данных или нужно больше? |
| СООРУЖЕНИЯ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ | Существующие и имевшиеся в прошлом наземные и подземные сооружения (здания, подземные коммуникации, дренажные системы и др.) | | |
| | Существующие и старые производственные участки (погрузка/разгрузка, хранение, производство и др.) | | |
| | Существующие и ранее имевшиеся места обращения с отходами и сопутствующей деятельности | | |
| | Иное: | | |
| НАЗЕМНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ | Топографические характеристики (высоты, низины, градиенты) | | |
| | Характеристики поверхностей (виды растительности, участки с твердым покрытием, участки без твердого покрытия/растительности) | | |
| | Поверхностные воды и характеристика поверхностного стока | | |
| | Участки засыпки и захоронения отходов (примерные объемы и типы засыпки/отходов) | | |
| | Геология и гидрогеология (данные исследований площадки, литературные данные, результаты моделирования) | | |
| | Существующие скважины водоснабжения, наблюдательные скважины, буровые скважины | | |
| | Иное: | | |
| ИНФОРМАЦИЯ О ЗАГРЯЗНЕНИИ | Подтвержденные и предполагаемые значимые химические вещества ⁴ | | |
| | Подтвержденные и предполагаемые источники и места высвобождения загрязнителей | | |
| | Концентрации загрязнителей и их распределение | | |
| | Механизмы переноса и пути миграции загрязнителей | | |
| | Результаты моделирования переноса и дальнейшей трансформации загрязнителей | | |
| | Иное: | | |

⁴ Прим. авторов: используется термин “chemicals of concern” (COCs), под которым понимаются вещества в концентрациях, превышающих установленные пороговые уровни, или те, которые могут оказать неблагоприятный эффект на человека и экологические рецепторы. Чаше аббревиатура СОС (во множественном числе – СОСs) обозначает “contaminant of concern”, что можно перевести как значимый загрязнитель. Значимость определяется исходя из указанных выше критериев и условий конкретной площадки.

| | | | |
|-------------------------------------|--|--|--|
| ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ И ПУТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ | Землепользование (площадка и прилегающие объекты) | | |
| | Природные ресурсы с экологическими ограничениями (поверхностные воды, водно-болотные угодья, исчезающие виды и т.д.) | | |
| | Места использования природных ресурсов (скважины водоснабжения, места забора воды из поверхностных источников и др.) | | |
| | Группы населения и места расположения (школы, больницы, детские сады и др.) | | |
| | Сценарии воздействия (проживание, административное, промышленное, рекреационное или сельскохозяйственное использование) ⁵ | | |
| | Оценка путей воздействия (источники, утечки, механизмы переноса, компоненты природной среды, через которые идёт воздействие, пути воздействия, рецепторы), | | |
| | Иное: | | |
| УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ | Краткое обобщение рисков | | |
| | Влияние мер по управлению риском на характеристики высвобождения и воздействия | | |
| | Мониторинг реализации: точки мониторинга и компоненты природной среды | | |
| | Действия при превышении критериев мониторинга | | |
| | Иное: | | |
| ОЧИСТКА И НОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ | Требования, предъявляемые к очистке | | |
| | Выбор и проектирование мероприятий | | |
| | Реализация мероприятий и, если применимо, эксплуатация и содержание ⁶ | | |
| | Новое использование и реконструкция | | |
| | Иное: | | |

3.2 Руководство по КМП штата Нью-Джерси (США)

Техническое руководство по подготовке и представлению концептуальной модели площадки Департамента по охране окружающей среды штата Нью-Джерси (США) [12] (далее – Руководство шт. Нью-Джерси) предназначено лицам, ответственным за проведение реабилитации. Его цель – содействовать выполнению указанными лицами регулирующих требований штата, содержащихся в документе «Технические требования к реабилитации площадок» [45] и ряде других.

Руководство шт. Нью-Джерси детально описывает назначение и основные элементы КМП, процесс её разработки и корректировки с точки зрения требуемой для этого информации. В приложениях приводятся иллюстративные примеры и чек-лист. Цель КМП – описание условий и характеристик площадки для понимания уровня её загрязнения и создаваемого риска. КМП позволяет дать полное и лаконичное представление об экологической системе и рисках для здоровья человека и окружающей среды. Использование КМП не должно заменять другие процедуры или другие методы исследования площадки, установленные регулируемыми требованиями. Указывается, что КМП может разрабатываться как отдельный документ или в качестве составной части документов, представляемых на рассмотрение (для сравнения – Руководство шт. Огайо подчёркивает преимущества КМП как отдельного документа).

Руководство шт. Нью-Джерси указывает, что должны быть исследованы и инкорпорированы в КМП все компоненты природной среды, и перечисляет их (грунтовые воды, поверхностные воды, почвы, донные отложения, воздух). КМП должна документировать наличие или отсутствие загрязнителей в конкретном компоненте. При наличии данных КМП может содержать основную информацию обо всех потенциально затронутых компонентах, включая применимые стандарты реабилитации, обобщающие таб-

⁵ Прим. авторов: в США предписывается использование определённых общих сценариев. Они имеют свою специфику, например, рекреационный сценарий не предполагает использование воды из природных источников, что, напротив, характерно для России, стран бывшего СССР, североевропейских стран.

⁶ Прим. авторов: в США на многих площадках практикуется сооружение инженерных систем, например, очистки грунтовых вод, которые эксплуатируются годами.

лицы и другие способы описания имеющихся данных обо всех компонентах природной среды, собранных за всю историю площадки. Отметим, что вопрос об объёме включаемой в КМП информации решается по-разному в различных штатах, как и странах, и может варьировать в зависимости от регулирующих требований и характеристик конкретных площадок (так, Руководство шт. Огайо отмечает, что включать в КМП данные, которые её обосновывают, нет необходимости, так как они есть в других документах).

КМП должна чётко различать фоновый уровень загрязнения и загрязнение, связанное с площадкой. Необходимо ясно указать, какая именно территория описывается: конкретный участок, площадка целиком, включена ли территория за пределами площадки. Важно пояснить в КМП, на каких рецепторах рассматривается воздействие: на человека или на экологических рецепторов, или на тех и других. КМП должна включать: план площадки с указанием рассматриваемой территории; расположенные на ней источники загрязнения и виды значимых загрязнителей; характеристики, влияющие на миграцию загрязнителей; потенциальных рецепторов; критерии реабилитации.

Руководство шт. Нью-Джерси фиксирует, какая информация должна быть обобщена и изложена в виде резюме при создании КМП:

- общее описание текущего использования объекта собственности и объектов собственности на окружающей территории;
- текущий статус зонирования для этих объектов и имеющаяся историческая информация о том, как они использовались ранее (с точки зрения экологического состояния);
- идентификация мест и глубин заложения подземных сооружений;
- информация о территории за пределами площадки и регионе размещения на основе данных аэрофотосъёмки, геоинформационных систем, старых и актуальных кадастровых карт и пр.;
- фотографии, топографические карты, карты геологических разрезов;
- места прошлых сбросов;
- концентрации загрязнителей в почве и грунтовых водах в прошлом;
- классификация водных горизонтов и поверхностных водных объектов;
- применимые стандарты реабилитации для всех потенциально загрязнённых компонентов природной среды;
- любые применимые способы предотвращения деградации.

Подробно оговаривается, какая информация должна быть представлена по каждому компоненту природной среды. В части отбора проб и характеристики делается отсылка к «Техническим требованиям к реабилитации площадок» и другим регулирующим документам на уровне штата. В отношении рецепторов подчёркивается, что их идентификация является ключевой. Рецепторы (человек и экологические рецепторы) включают всех, кто: находится под воздействием значимых загрязнителей или под угрозой такого воздействия; находится в пределах рассматриваемой в КМП территории; находится вдоль пути миграции. Будущее использование площадки может повлиять на сценарии воздействия, поэтому в КМП следует принимать его во внимание с точки зрения рецепторов. При этом воздействие на человека и воздействие на экологических рецепторов следует представлять в КМП по отдельности.

Когда речь идет о человеке, в рассмотрение включаются:

- загрязнители, подлежащие оценке, или их группы;
- путь для каждого значимого загрязнителя: прямое воздействие (т.е. ингаляционный, пероральный путь и контакт с кожными покровами) и накопление по пищевой цепочке;
- население, подвергаемое воздействию в настоящий момент и которое потенциально может оказаться под воздействием.

Оценка экологического риска часто отделена от оценки риска для человека из-за различий путей миграции и источников пищи. В общем случае для экологических рецепторов в рассмотрение включаются:

- потенциально значимые загрязнители (включая их сочетание) для почвы, грунтовых и поверхностных вод, донных отложений;
- виды, которые подвергаются воздействию в настоящем и будущем: это представители основных групп, рассматривать все имеющиеся виды на площадке и близлежащей территории нужно не всегда;
- пути миграции загрязнителей к экологически чувствительным зонам;
- экологически чувствительные зоны (согласно описанию в «Технических требованиях к реабилитации площадок»);
- карты популяций, находящихся под воздействием, для каждого пути миграции.

Для идентификации источников загрязнения требуется провести тщательное исследование истории владения рассматриваемым участком и эксплуатационной деятельности. В этих целях могут быть использованы данные предварительной оценки, выполненной в соответствии с регулируемыми документами штата. При характеристике источника следует рассматривать:

- место нахождения;
- что содержится;
- сроки использования;
- размер/объём/массу;
- картографический материал, в том числе с указанием мест сбросов;
- ранее проведенные реабилитационные мероприятия;
- неотложные экологические проблемы/пути их преодоления.

При анализе информации важно идентифицировать загрязнение, которое не связано с утечками или деятельностью на площадке. Следует определить, были ли в какой-то период выполнены ландшафтные работы и какой материал при этом использовался. Также возможно, что обнаруженные на площадке загрязнители появились там вследствие антропогенного переноса, сбросов соседних объектов или повышенных природных концентраций. Наличие загрязнения, не связанного с деятельностью на площадке, следует учитывать при идентификации путей миграции и рецепторов, хотя контроль за таким загрязнением может оказаться ненужным или невыполнимым.

Как уже отмечалось выше, в КМП должны быть описаны такие компоненты природной среды, как почвы, грунтовые и поверхностные воды, донные отложения и воздух. Руководство шт. Нью-Джерси детализирует, какую информацию следует рассматривать при оценке миграции по каждому компоненту. Покажем это на примере почв.

Указывается, какие документы штата регулируют исследования почв и отбор проб. В случае, если почвы на площадке загрязнены выше установленных штатом уровней реабилитации, создаётся КМП с указанием границ рассматриваемой территории и мест пробоотбора. Такая КМП, с учётом сложности площадки и её условий, должна представлять следующую информацию, полученную на основе полевых исследований:

- значимые загрязнители, концентрации и их пространственные вариации, критерии реабилитации;
- физические характеристики почв, в которых наличествуют загрязнители и через которые может происходить их перемещение (примеры характеристик включают вид почв, плотность твердой фазы, проницаемость, содержание органического углерода, пористость, профиль по результатам бурения, влажность);
- гетерогенность профиля;
- наличие “зоны размывания загрязнений” (прим. авторов: “smear zone” – зона, в которой загрязнитель распространился в почве за счёт сезонного колебания уровня грунтовых вод);
- глубина залегания грунтовых вод и коренных пород.

В рамках КМП определяются условия, определяющие потенциальные пути миграции и риски воздействия. Документирование указанных характеристик и их вариаций на площадке важно для последующего анализа путей переноса загрязнения. Примеры такой информации включают:

- близость поверхностных вод и водно-болотных угодий;
- особенности дренажа на поверхности и под землей;
- характеристики инфильтрации ливневых вод;
- мощность почвенного слоя;
- близость к зданиям;
- близость к жилой зоне, школам, паркам и др.;
- места размещения коммунальных систем/приоритетные пути миграции.

В приложении даётся иллюстративный пример, в котором рассматривается единственный участок загрязнения почвы на площадке. На рисунках и блок-схемах показано развитие КМП по этапам характеристики площадки. Для этапа предварительной оценки приводится схема площадки с указанием расположения проблемного участка и расстояния до здания (рис. 16) и блок-схема по путям воздействия (рис. 17). Блок-схема для этапа исследования площадки показана на рис. 18. *Примечание авторов: на рисунках 17 и 18 дан смысловой перевод информации, представленной в [12], с расшифровкой ряда аббревиатур и некоторыми сокращениями. Аббревиатура “АОС” обозначает “area of concern”, т.е. проблемную территорию, под которой понимается место производства, размещения, переработки, сброса, захоронения и других операций с опасными веществами и отходами, или место, куда они могли мигрировать.*

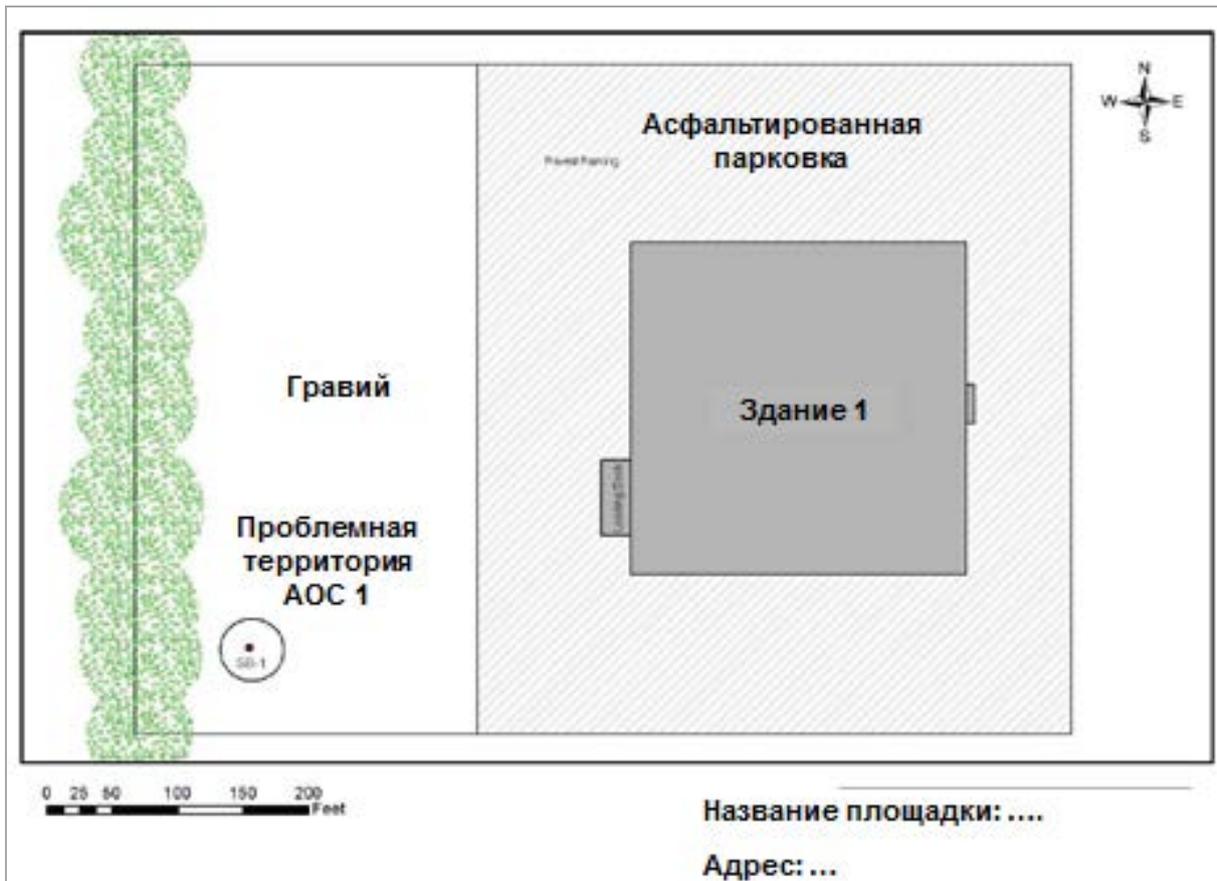


Рисунок 16. Схема площадки с проблемным участком [12]

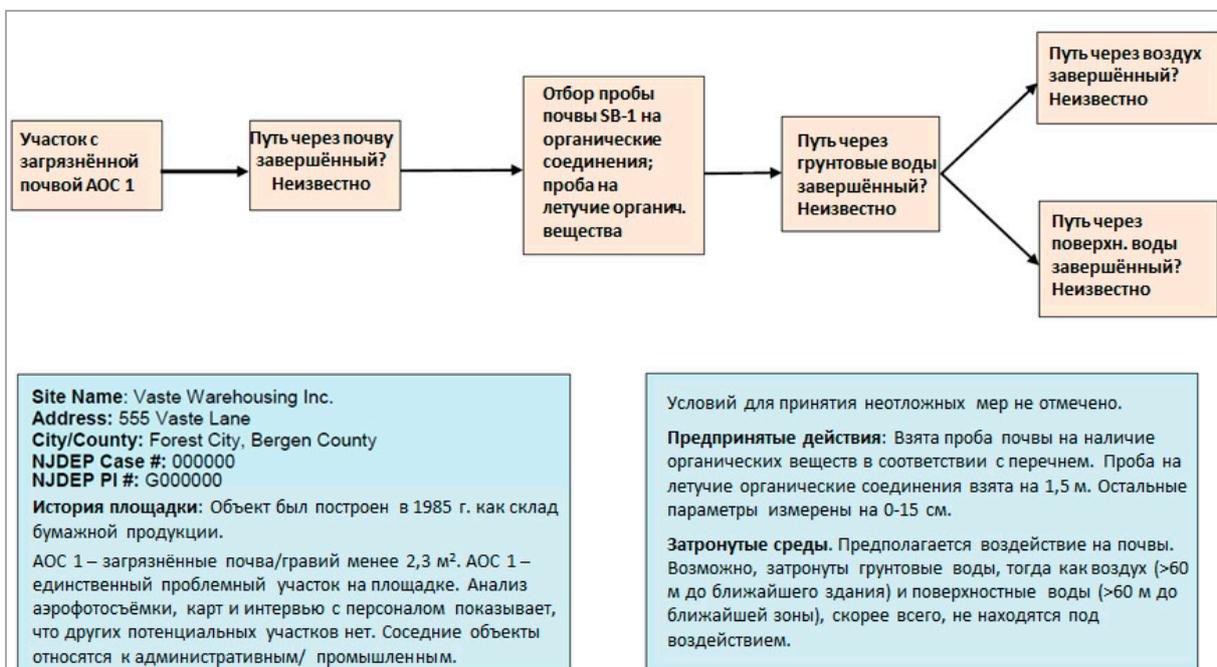


Рисунок 17. Блок-схема с информацией о площадке и взятых пробах на этапе предварительной оценки [12]

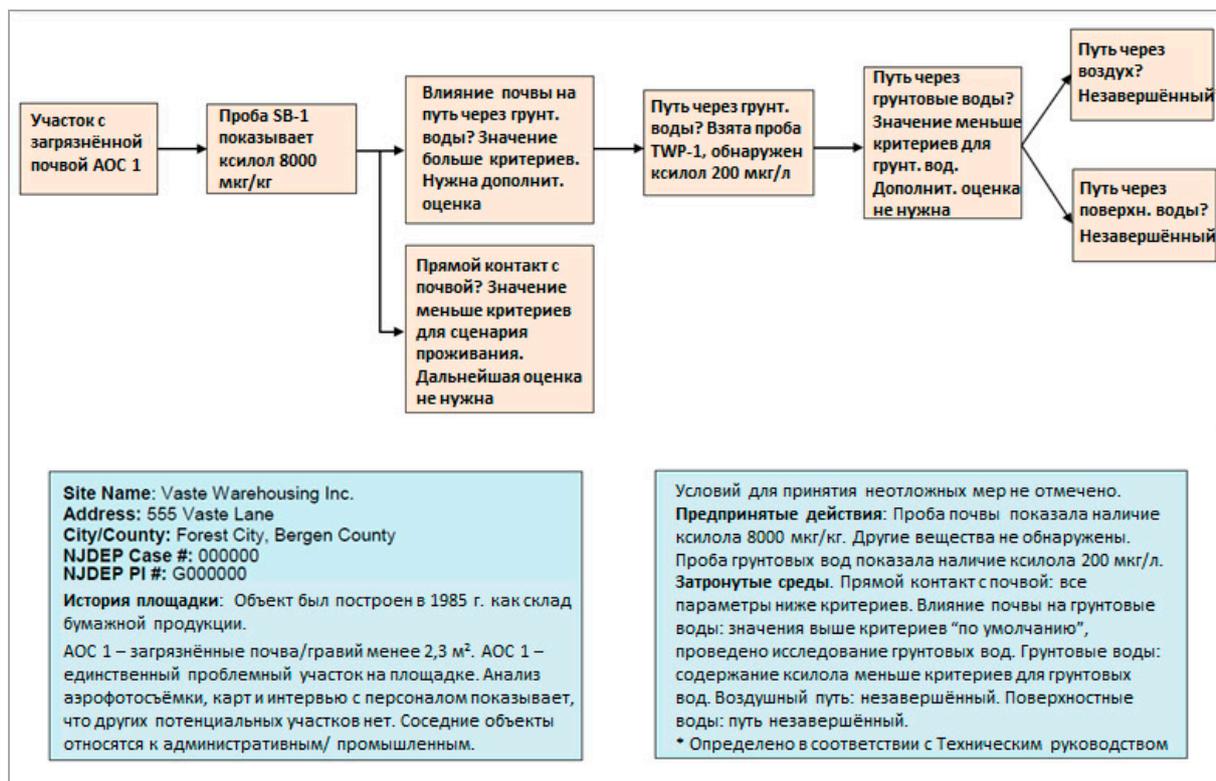


Рисунок 18. Блок-схема с информацией о взятых пробах и путях воздействия на этапе исследования площадки [12]

КМП может быть применена на всех этапах процесса реабилитации для понимания взаимосвязи «источник – путь – рецептор» на проблемной территории (см. табл. 3 в разделе 1). Использование КМП не заменяет иные документированные процедуры и методы исследования площадки, которые нужны в соответствии с «Техническими требованиями к реабилитации площадок».

В Руководстве шт. Нью-Джерси отмечается необходимость идентификации тех составляющих КМП (т.е. источника, путей миграции и рецепторов), где имеются пробелы в информации. Последние следует идентифицировать в соответствии с источниками неопределённости. Особо отмечается, что по ходу исследования площадки КМП может существенно меняться. Новая информация должна использоваться для модификации КМП, даже если она меняет ту КМП, которая ранее была “утверждена”.

В приложениях, помимо уже рассмотренного выше иллюстративного примера, предлагается чек-лист, а также приводятся другие примеры КМП: КМП для сложной площадки, на которой имеется загрязнение различных компонентов и есть несколько путей воздействия, и использование КМП для случая переноса загрязнений в помещения воздушным путём.

3.3 Руководство по КМП провинции Британская Колумбия (Канада)

Пример взят из руководства канадской провинции Британская Колумбия «Использование концептуальных моделей площадки для поддержки заявок на получение разрешений ЕМА на сбросы» [46] (далее – Руководство для сбросов). Он иллюстрирует применение КМП для деятельности, которая имеет прямое отношение к управлению окружающей средой, но не связана с реабилитацией загрязнённых участков. В данном случае КМП разрабатывается как подробный документ, при этом состав необходимой информации предписан отдельной регулирующей нормой.

Руководство для сбросов предназначено для разработчиков проектов добычи ископаемых при подготовке ими Отчёта о технической оценке (Technical Assessment Report – TAR), который требуется для заявок на получение разрешений на сбросы в соответствии с Законом об экологическом управлении (ЕМА) 2003 г. TAR состоит из общего набора научных исследований, которые требуются для описания экологических эффектов деятельности по добыче.

В Руководстве для сбросов подчёркивается, что уровень детализации и виды информации для включения в TAR напрямую зависят от масштаба и сложности предполагаемой добывающей деятельности.

КМП обобщает пути переноса загрязняющих веществ и служит инструментом для оценки воздействия планируемых сбросов на окружающую среду.

КМП следует разрабатывать на начальных стадиях оценки или проектирования, далее она должна регулярно обновляться. Её предназначение – обеспечение прогнозных моделей и коммуникация по вопросам экологического статуса площадки для целей управления окружающей средой. КМП должна быть выполнена в виде отдельного документа, доступного общественности, и подана одновременно с ТАР. В окончательной заявке на сбросы должна быть финальная версия КМП.

Руководство для сбросов подчёркивает связь с другими документами, регулирующими подачу заявок. Одним из них является «Таблица требований к информации для подачи заявок на сбросы при добыче ископаемых» [47], включающая разделы по каждому компоненту природной среды (поверхностные воды, грунтовые воды, донные отложения; рецепторы и информационные пробелы для каждой из сред; места отбора проб; подходы к моделированию воздействий на каждую из сред и оценка этих воздействий; планирование сбросов в режиме нормальной эксплуатации и отклонениях от неё и др.). Оговаривается, что не всё из перечисленного может понадобиться для конкретной заявки. Документ призван гарантировать, что собрана вся информация, необходимая для КМП. Он рассматривается совместно органом, куда направляется заявка, и заявителем на предварительной стадии подачи заявки и может войти (с отметкой обязательной информации) в состав документов, подаваемых при окончательной заявке.

Финальная версия КМП должна содержать, как минимум, следующую информацию:

- о местах расположения и характеристиках потенциальных источников загрязнения (природных или привнесённых) на площадке и за её пределами, их составе, происхождении и уровне загрязнения (для добывающих предприятий это, в первую очередь, деятельность по добыче и хранению, при которых возможен выход загрязняющих веществ);
- о возможных механизмах переноса значимых загрязнителей, включая жидкую, безводную, водную и газовую фазы, к рецепторам;
- в случае переноса с грунтовыми водами: о гидрологических условиях, включая протяженность всех водоносных горизонтов на площадке, вблизи неё и в иных значимых местах, уровень грунтовых вод, гидравлические градиенты, водозаборные скважины и др.;
- обо всех известных и потенциальных экологических рецепторах и рецепторах в плане здоровья человека (группах рецепторов), которые могут быть затронуты деятельностью на площадке.

КМП должна детально описывать:

- физические условия (описание площадки с использованием рисунков и диаграмм, в которых могут быть отражены наземные и подземные объекты инфраструктуры, топография, места отбора проб, расположение поверхностных водоемов, гидрологические характеристики грунтовых вод, типы почв и др.);
- биологическую среду (экологические сообщества, биологические виды с фокусом на уязвимые, экономически значимые или важные в культурном отношении, исчезающие виды). Полезно использование карт, которые иллюстрируют места обитания, дикую природу, землепользование. Идентифицированные виды и экосистемы должны отражать потенциальных рецепторов загрязняющих веществ, как первичных, так и вторичных (т.е. водоросли, растения, беспозвоночные);
- землепользование (описание использования изучаемой территории, включая забор питьевой воды, сельское хозяйство, рекреационное использование, такое как плавание, сбор ягод, рыбалка). Описываются, если известны, традиционные промыслы коренных народов;
- все значимые загрязнители и их источники (виды, их расположение на площадке и вне её);
- потенциальные источники загрязнения (которые могут включать, например, поверхностный сток, кислотный шахтный водоотлив и др.);
- потенциальные пути переноса значимых загрязнителей, которые, как подчеркивается в Руководстве по сбросам, являются исключительно важными для КМП. Часто для описания механизмов переноса и путей воздействия используются блок-схемы и таблицы. Под механизмом переноса понимается движение загрязнителей в окружающей среде после высвобождения из источника (диффузия, адвекция и пр. в различных средах). Пути воздействия описывают, каким образом рецептор контактирует с загрязнителем (ингаляционный и пероральный пути, контакт с кожными покровами, поглощение корнями растений и др.). КМП должна чётко показывать, какие комбинации «путь-рецептор» нуждаются в последующей оценке. Для исключения пути из дальнейшего рассмотрения требуется документированное обоснование.

Руководство по сбросам также описывает последовательность этапов по созданию КМП, часть из них привязана к выполнению других регулирующих требований (предполагаемый отбор проб включается в Таблицу информационных требований и согласовывается с регулирующим органом). В приложении приводится иллюстративный пример использования КМП в процессе подачи заявки.

В примере представлена гипотетическая компания, которая намерена добывать медь и золото открытым способом. Участок добычи относится к площади водосбора большой реки, водосток с участка идет в небольшие ручьи в северном направлении, в два больших ручья в южном и в заболоченную местность – в западном. Один из больших ручьев впадает в озеро, популярное у местного населения. В примере рассматриваются два сценария: в первом случае отсутствует превышение нормативов, во втором предполагается загрязнение грунтовых и поверхностных вод, что требует дополнительных консультаций и принятия мер по снижению воздействий до получения разрешения. Инфраструктура на участке включает рудник, фабрику переработки руды, хранилище отвалов, пруд-отстойник (для сбора сбросов, фильтрата, кислотных шахтных вод и поверхностного стока), установку водоочистки для обработки стоков из пруда-отстойника, хвостохранилище и его дамбы.

Сначала разрабатывается предварительная КМП с указанием всех путей переноса загрязнителей (рис. 19). Руководство по сбросам приводит её в форме блок-схемы, оговаривая, что на практике КМП должна сопровождаться картографическим материалом, текстовым описанием и др. Затем идёт сбор данных, анализ которых может показать, что некоторые из путей являются незавершёнными. В первом (упрощённом) сценарии предполагается, что исследования убедительно показали отсутствие потенциального переноса загрязнителей из отстойника через заболоченную территорию и грунтовые воды в поверхностные водоёмы. Этот путь является незавершённым и не требует дальнейшего рассмотрения (рис. 20). Далее сценарий предполагает, что сбросы будут осуществляться из отстойника на заболоченную территорию. Требуется произвести характеристику сбросов и выполнить прогноз качества вод с использованием утверждённой методологии. Затем полученные результаты следует сравнить с нормативами качества вод. В упрощённом сценарии нормативы будут соблюдаться и, следовательно, сбросы не окажут воздействие на рецепторов. При выполнении финальной версии КМП заявителю рекомендуется провести внутреннюю оценку с тем, чтобы удостовериться, что перед подготовкой TAR выполнены все необходимые элементы. Далее идёт сама подготовка TAR.

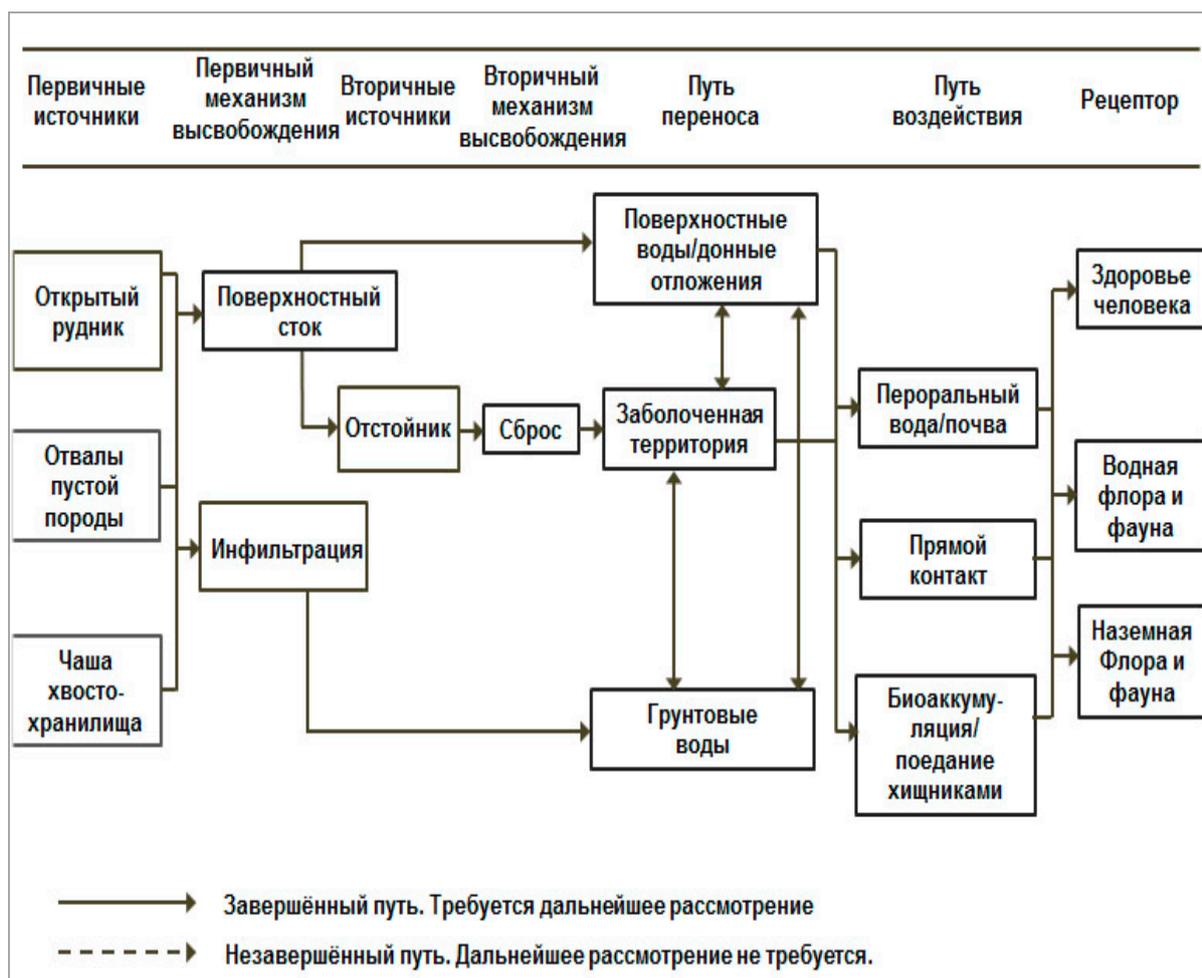


Рисунок 19. Предварительная КМП [46]



Рисунок 20. Уточнённая КМП с указанием завершённых и незавершенных путей воздействия для грунтовых вод [46]

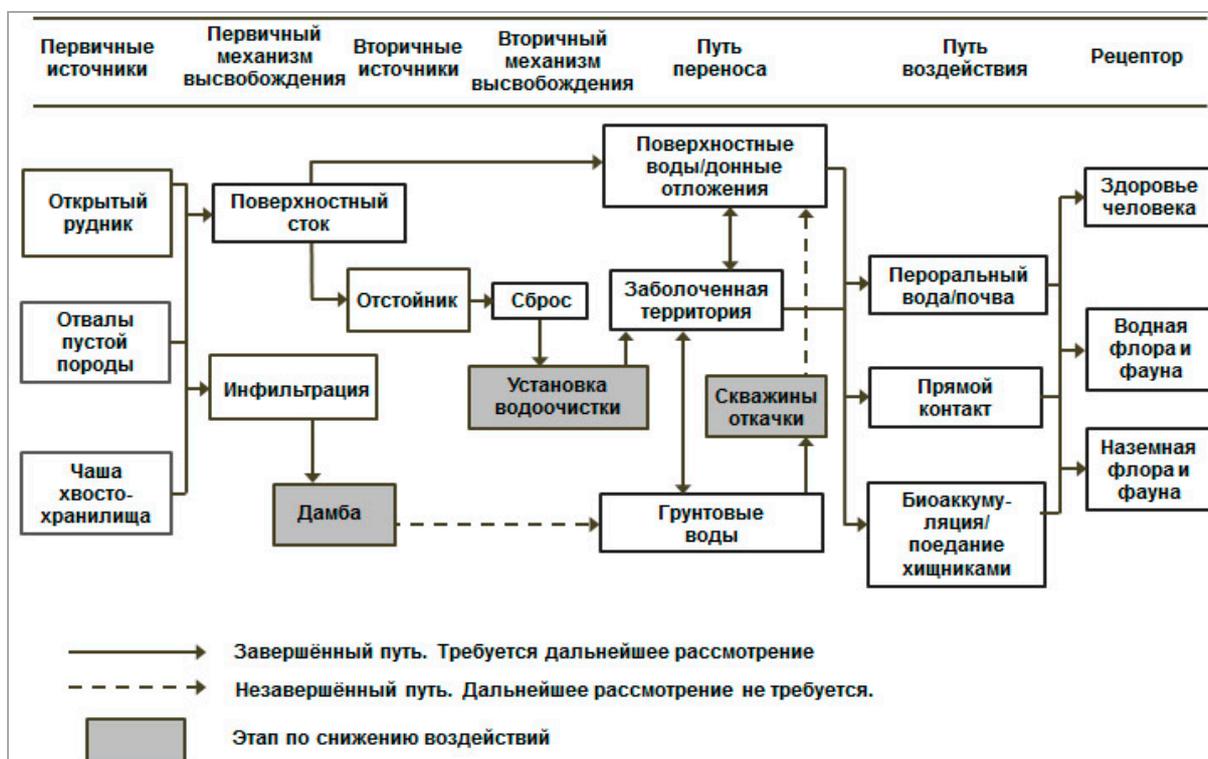


Рисунок 21. Уточнённая КМП с указанием завершённых и незавершенных путей воздействия для грунтовых вод при использовании наилучших имеющихся технологий [46]

Во втором сценарии исследования показывают наличие переноса загрязнителей с грунтовыми водами в поверхностные, что требует признания всех путей переноса завершёнными и последующей оценки воздействий на рецепторы. Согласно второму сценарию, концентрации загрязнителей в сбросах, а также поверхностных водах ниже по течению от южной дамбы превысят нормативы. В этом случае следующим этапом является оценка наилучших имеющихся технологий, среди которых рассмотрены три: установка водоочистки для обработки стоков перед выпуском на заболоченную территорию; сооружение дамбы для поглощения инфильтрата из хвостохранилища и сооружение скважин откачки грунтовых вод для их очистки (рис. 21). Требуется провести новое моделирование с соответствующими расчётами воздействий на рецепторы и обновить КМП. В случае, если прогноз показывает, что нормативы по-прежнему не выполняются, Руководство по сбросам отмечает, что в ряде случаев могут быть разработаны научно обоснованные экологические контрольные показатели (science-based environmental benchmarks), которые будут применимы к конкретному объекту. Такие показатели разрабатываются на основе соответствующего технического руководства и должны быть одобрены регулирующим органом. Если одобрение получено, дорабатывается финальная версия КМП.

4 Обсуждение

4.1 КМП в контексте проблематики загрязнённых территорий

Вопросы реабилитации загрязнённых территорий, в том числе зарубежный и российский опыт, авторы рассматривали в ряде своих работ [3, 48-50]. В данном разделе мы приведём примеры ряда нормативных актов и руководств, которые представляются нам полезными в связи с темой КМП и не рассматривались ранее.

КМП нельзя назвать новым инструментом, он применяется, по меньшей мере, на протяжении трёх последних десятилетий [10], в том числе на объектах DOE [51]. Тот факт, что за прошедшие годы КМП стала уже мировой классикой в управлении реабилитацией, подтверждается недавним появлением стандарта ISO 21365:2019 [7].

МАГАТЭ, которое уже весьма продолжительное время (как минимум, пять лет) проводит ревизию Руководства по безопасности WS-G-3.1 2007 года по процессу реабилитации территорий, загрязнённых вследствие деятельности в прошлом и аварий [52], включило КМП в его новую версию. В разрабатываемом документе под номером DS468 с предварительным названием «Стратегия и процесс реабилитации для территорий, затронутых деятельностью в прошлом или событиями» [53] КМП упомянута в контексте детального исследования площадки. Такое исследование должно предоставить информацию о характере и уровне загрязнения, идентифицировать рецепторы и собрать данные для концептуальной модели площадки (определения ключевых источников и путей загрязнения) и соответствующих оценок доз и риска. В поясняющей сноске отмечено, что КМП синтезирует и подтверждает то, что уже известно о площадке, для поддержки принятия решений. Относительно выполнения оценок безопасности и экологических оценок в тексте указывается, что расчёт прогнозируемых доз требует моделирования в рамках КМП, которая отражает основные источники, пути облучения и связь с рецепторами, подверженными облучению.

В числе российских документов следует назвать Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почв ГОСТ Р 53123-2008 [54], которое является российской модифицированной версией международного стандарта ISO 10381-5:2005. ГОСТ Р 53123-2008 устанавливает рекомендации, касающиеся методики исследования городских и промышленных зон, где подтверждено или предполагается загрязнение почвы, и применяется:

- в случае, если необходимо установить уровень загрязнения участка или его экологическое качество для иных целей;
- на участках, где загрязнение почвы не ожидается, но необходимо определить качество почвы (например, чтобы удостовериться в отсутствии загрязнения);
- для оценки загрязнения почвы на любых участках, где необходимо оценить степень и масштаб загрязнения.

Уточняется, что загрязнение определяется как результат воздействия человека, однако описанные методы исследования могут также применяться на любых участках с высокими природными концентрациями потенциально опасных веществ.

ГОСТ Р 53123-2008 вводит в российскую практику определение КМП. Концептуальная модель – представление или описание участка, включающее все сведения об участке (например, загрязнение, геологию, свойства почвы, экологическую обстановку) и, при необходимости, указывающее возможные пути загрязнения различных объектов в настоящем и будущем [54]. В приводимом определении ГОСТ Р 53123-2008 избегает слова «участок», хотя и употребляет его непосредственно в тексте. Следует отме-

титель, что исходный стандарт ISO 10381-5:2005 был упразднен в 2018 г. в связи с принятием новых документов в этой области [55]. В новой версии стандарта ISO 18400-202:2018, посвященного предварительным исследованиям, представлено обновлённое определение КМП. Вернее, их два, каждое начинается также, как и приводившееся нами в табл. 1 определение более позднего стандарта ISO 21365:2019 [7], далее следует дополнение. Приведём пример одного из определений КМП: «Обобщение всей информации о потенциально загрязнённом участке, имеющей отношение к поставленной задаче, с должной интерпретацией и признанием неопределённостей в информации, включая идентификацию тех неопределённостей, о которых известно» [56] (прим. авторов: курсивом выделено отличие от [7]).

ГОСТ Р 53123-2008, несмотря на более современные версии своего прототипа, является полезным источником информации и предлагает в части исследования площадок многое из того, что нами уже описывалось выше. ГОСТ Р 53123-2008 отмечает, что выявление, качественная и количественная оценка рисков, связанных с загрязнением земель, должны представлять собой последовательный процесс, включающий в себя отдельные этапы. Основными этапами являются:

- предварительные исследования;
- разведочные исследования;
- основные полевые исследования.

Концептуальная модель участка создается уже на этапе предварительных исследований и включает в себя:

- формулировку гипотез о возможном типе (типах) и условиях загрязнения;
- пути миграции (в пределах участка и за его пределами), пространственное и временное распределение загрязнителей;
- предположения, касающиеся других аспектов участка, таких как гидрология;
- заключения о необходимости неотложных мероприятий по защите людей или окружающей среды.

Эти предположения являются компонентами общей концептуальной модели, которая должна быть разработана для участка и охватывать не только загрязнение, но также вопросы геологии, почвоведения, гидрогеологии, геотехнических свойств почв и экологической обстановки. Важным аспектом концептуальной модели также является настоящее и предполагаемое использование участка.

Разведочные (пробные) исследования включают в себя полевые исследования, в том числе отбор проб почвы или насыпного грунта, поверхностных и грунтовых вод и, при необходимости, почвенных газов, а также последующий анализ или тестирование собранных проб. Полученные данные используются для оценки правильности предположений, основанных на предварительных исследованиях, и, при необходимости, для исследования других аспектов концептуальной модели. Отмечается, что разработка концептуальной модели существенно помогает изучению участка и рисков, которые он может представлять для людей и других объектов загрязнения, а также планированию следующих этапов исследования. Она также способствует принятию решений о методах ремедиации (при необходимости) и других работах [54].

В ГОСТ Р 53123-2008 уделено значительное внимание вопросам представления результатов исследований. Так, в отчёт о предварительных исследованиях должен содержать четко определенную предварительную формулировку концептуальной модели и предположения в качестве отдельной главы. В отчёт включается полное обсуждение и полное описание разработки концептуальной модели для участка, включая сформулированное предположение, выводы о наличии или отсутствии загрязнения (и его типе и природе), пространственное распределение и сведения о выделенных зонах, для которых сформулированы различные предположения.

Разведочные исследования проводятся на основе предварительных исследований, и их основной целью является проверка правильности сформулированных предположений о загрязнении участка или, в более общих терминах, проверка правильности концептуальной модели, разработанной для участка. Тщательное планирование разведочных исследований должно обеспечить доказательство правильности предположений при минимальной затрате времени и средств.

Концептуальная модель уточняется на базе основных исследований до уровня точности, соответствующего целям исследования и принятия решений. Уточнённая концептуальная модель служит основой оценки общей ситуации с загрязнением участка. В документе достаточно подробно перечисляются факторы, которые могут оказывать влияние на распределение загрязнения и возможные пути миграции. К ним относятся вопросы геологии, почвоведения, гидрогеологии, геотехнических свойств почв и др.

Если сравнивать национальное и зарубежное законодательство в области реабилитации в целом, то в России вопросы реабилитации загрязнённых территорий пока находятся на периферии нормотворческой деятельности, хотя за последние годы произошло определённое движение вперёд.

Важной законодательной инициативой стало внесение в 2016 г. поправок в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» [13] с введением новой главы XIV.1 «Ликвидация накопленного вреда окружающей среде». Оценка объекта накопленного вреда окружающей среде включает в себя установление:

- объема или массы загрязняющих веществ, отходов и их классов опасности;

- площади территорий и акваторий, на которых расположен объект накопленного вреда окружающей среде, категории и видов разрешенного использования земель;
- уровня и объёма негативного воздействия на окружающую среду, включая способность загрязняющих веществ к миграции в иные компоненты природной среды, возможность загрязнения водных объектов, в том числе являющихся источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, возможность возникновения экологических рисков;
- наличия на объектах накопленного вреда окружающей среде опасных веществ, указанных в международных договорах, стороной которых является Российская Федерация;
- количества населения, проживающего на территории, окружающая среда на которой испытывает негативное воздействие вследствие расположения объекта накопленного вреда окружающей среде;
- количества населения, проживающего на территории, окружающая среда на которой находится под угрозой негативного воздействия вследствие расположения объекта накопленного вреда окружающей среде.

Законом установлено, что ликвидация накопленного вреда осуществляется на объектах, включенных в государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде. Организация работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде включает в себя проведение необходимых обследований, в том числе инженерных изысканий, разработку проекта работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде, его согласование и утверждение, проведение работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде, контроль и приемку выполненных работ. Порядок организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде устанавливается Правительством Российской Федерации.

Законодательные подходы к оценке объектов накопленного вреда, предусматривающие описание источника загрязнения, его воздействия на окружающую среду и территории воздействия, вполне согласуются с принципами создания КМП. Если речь идёт, например, о старых полигонах размещения отходов, КМП позволила бы синтезировать информацию об объекте и визуализировать проблему для коммуникации органов власти, исполнителей работ, местного населения и других заинтересованных сторон. Помимо работ на самом объекте было бы возможно разработать и сравнить варианты мероприятий, направленных на снижение загрязнения компонентов природной среды.

Если обратиться к Правилам организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде [57], то они весьма немногословны и в значительной части воспроизводят основные положения главы XIV.1 федерального закона [13]. Повторяется, что организация работ по ликвидации накопленного вреда включает в себя:

- а) проведение необходимых обследований объекта, в том числе инженерных изысканий;
- б) разработку проекта работ по ликвидации накопленного вреда;
- в) согласование и утверждение проекта;
- г) проведение работ по ликвидации накопленного вреда;
- д) осуществление контроля и приёмку проведённых работ по ликвидации накопленного вреда.

Обращает на себя внимание, что проведение необходимых обследований объекта, в том числе инженерных изысканий, проводится как заказчиком (это органы государственной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления, за исключением установленных Правительством Российской Федерации случаев) – для подготовки проекта при выявлении и оценке объектов, так и исполнителем – при разработке проекта (в объёме, необходимом для обоснования состава работ по ликвидации накопленного вреда, в том числе почвенные и иные полевые обследования, а также лабораторные исследования). Такая логическая последовательность сомнительна: указано, что обследование проводится в объёме, необходимом для обоснования работ, тогда как, напротив, работы, их состав и объём должны базироваться на обследовании объекта. Нет гарантий, что первоначальное обследование дало достаточно полную картину загрязнения для формулирования полноценного технического задания на разработку проекта. Также не вполне ясно, будет ли ГОСТ Р 53123-2008 с его детальной процедурой применяться к случаям загрязнения почв на объектах накопленного вреда и прилегающей территории в процессе обследования объекта.

Важным шагом нормотворческой деятельности стали Правила проведения рекультивации и консервации земель [58], с утверждением которых в 2018 году утратили силу два давних правительственных постановления: «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» [59] и «Об утверждении Положения о порядке консервации земель с изъятием их из оборота» [60]. В документе указывается, что рекультивации в обязательном порядке подлежат нарушенные земли в случаях, предусмотренных Земельным кодексом Российской Федерации, Лесным кодексом Российской Федерации, другими федеральными законами, а также земли, которые подверглись загрязнению химическими веществами, в том числе радиоактивными, иными веществами и микроорганизмами, содержание которых не соответствует нормативам качества окружающей среды и требованиям законодательства в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Уточняется, что рекультивация и консервация земель, подвергшихся загрязнению радиоактивными веществами, осу-

ществляется с учетом особенностей, установленных законодательством Российской Федерации о радиационной безопасности. В Правилах также указывается состав разделов проектов рекультивации и консервации земель.

Терминологически рекультивация в данном документе рассматривается максимально широко, объединяя, по сути, рекультивацию, традиционно понимаемую как меры по восстановлению нарушенного почвенного слоя, и реабилитацию, используемую в контексте загрязнения земель: «рекультивация земель - мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почвы, восстановления плодородного слоя почвы и создания защитных лесных насаждений» [58].

Правила в самом общем виде описывают конечные результаты рекультивации, делая отсылку к применимому законодательству: «Рекультивация земель должна обеспечивать восстановление земель до состояния, пригодного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, путем обеспечения соответствия качества земель нормативам качества окружающей среды и требованиям законодательства Российской Федерации в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения...» [58]. Говоря о загрязнении, речь фактически идёт о допустимых нормативах содержания тех или иных веществ в почве при определённом использовании участка. Такой нормативный подход прост в применении, хотя с точки зрения оптимизации реабилитации он может оказаться избыточно жестким. С другой стороны, Правила устанавливают возможность проведения рекультивации с помощью биологических мероприятий, в том числе фитомелиоративных, и предусматривают достаточно длительные сроки ведения работ – до 15 лет для рекультивации земель, более 25 лет – для их консервации. Рекультивация может осуществляться и путём поэтапного проведения работ.

Указанные позитивные новации в нормативно-правовом регулировании важны, но целый ряд вопросов, касающихся конечных состояний, критериев реабилитации загрязнённых территорий, остается за кадром. Отдельные нормативные акты пока не складываются в стройную систему действий и процедур, как это реализовано в странах, которые давно осуществляют программы очистки территорий, загрязнённых в ходе прошлой деятельности. Ряд законодательных норм не получил развития в подзаконных актах. Так, например, согласно Федеральному закону «Об охране окружающей среды» [13] при выводе из эксплуатации зданий, строений, сооружений и иных объектов должны быть разработаны и реализованы мероприятия по восстановлению природной среды, в том числе воспроизводству компонентов природной среды, в целях обеспечения благоприятной окружающей среды, однако конкретизация данной нормы отсутствует. В этом плане регулирование объектов использования атомной энергии на заключительных стадиях жизненного цикла является системным и стремится к постоянному улучшению. Что касается КМП, то мы полагаем, что на данном этапе развития нормативно-правовой базы и практики работ по реабилитации её применение будет в большей степени востребовано на объектах использования атомной энергии. Кратко представим свои соображения в следующих разделах.

4.2 Перспективы применения КМП на площадках объектов использования атомной энергии

КМП можно эффективно использовать в деятельности по реабилитации загрязнённых площадок и в интеграции этой деятельности с другими работами, а также для решения отдельных задач. Рассмотрим несколько направлений возможного применения КМП.

Вывод из эксплуатации. Вывод из эксплуатации как заключительная стадия жизненного цикла объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) должен обеспечить достижение установленного проектом конечного состояния площадки. В регулирующих документах не содержится требований полного удаления конструкций ОИАЭ или полного удаления радиоактивности, как и восстановления исходных условий, существовавших до начала сооружения объекта. Основным нормируемым параметром в современной практике являются дозы облучения населения от остаточной радиоактивности после завершения работ, а также дозы облучения персонала в том случае, если площадка сохраняется как радиационный объект.

Между тем дозы ионизирующего облучения регулируют только один вид воздействия, в то время как при принятии решений о загрязнённых площадках должны учитываться и другие возможные факторы воздействия на здоровье человека. Этот комплексный подход реализуется в зарубежных странах, в том числе на основе оценки рисков. Переход к регулированию техногенного воздействия на основе рисков для здоровья населения определён и в нашей стране Основами государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года [61]. В качестве механизма реализации государственной политики в области экологического развития определено внедрение в систему управления качеством окружающей среды методологии определения и оценки экологических рисков с

целью повышения обоснованности принятия управленческих решений, в частности и при обосновании экологической приемлемости ОИАЭ.

Под остаточным радиоактивным загрязнением понимается загрязнение радионуклидами зданий, сооружений, помещений ОИАЭ, объектов окружающей среды на площадке ОИАЭ, образовавшееся в результате эксплуатации ОИАЭ и остающееся после завершения работ по выводу из эксплуатации [62]. Для расчёта прогнозируемых доз облучения требуется понимание того, как остаточная радиоактивность на площадке распространяется в окружающей среде и воздействует на различные объекты. Соответственно, необходимо знание условий площадки и её объектов, количественного и пространственного распределения радиоактивности в компонентах природной среды, особенностей будущего использования площадки и, при необходимости, прилегающей к ней территории.

Согласно НП-091-14 [62] проектная документация вывода из эксплуатации ОИАЭ должна предусматривать в том числе перечень радиационных факторов, определяющих воздействие остаточного радиоактивного загрязнения на персонал и (или) население, окружающую среду (например, уровни мощности дозы, плотности потока частиц на поверхности в помещениях и на площадке ОИАЭ, удельная активность отдельных радионуклидов или суммарная удельная активность радионуклидов в почве, поверхностных и подземных водах, воздухе, растительности на площадке ОИАЭ). Значения радиационных факторов являются производными от следующего критерия безопасного прекращения деятельности по выводу из эксплуатации ОИАЭ: годовая эффективная доза облучения населения от всех путей радиационного воздействия за счет остаточного радиоактивного загрязнения не должна превышать уровня, установленного в санитарных правилах, нормах и гигиенических нормативах в области обеспечения радиационной безопасности.

Информация об исходном состоянии ОИАЭ до вывода из эксплуатации определяется на основе комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО), рекомендации по проведению КИРО содержатся в РБ-159-19 [63], разработке программы КИРО – в РБ-160-19 [64]. Рекомендации по проведению заключительного обследования содержатся в РБ-124-16 [65].

Хотя работы по очистке площадки от остаточного загрязнения обычно проводятся после завершения работ по демонтажу и дезактивации оборудования и сооружений, сами работы планируются на этапе подготовки проекта. Кроме того, в ряде случаев такие работы могут потребоваться и на более раннем этапе, например, для обеспечения безопасных условий для персонала. Интегрированный подход к выводу из эксплуатации и реабилитации имеет ряд преимуществ: получение финансовых выгод за счёт снятия контроля с отдельных частей площадки до полного завершения работ, планирование работ по выводу таким образом, чтобы они не приводили к ухудшению экологического состояния площадки (например, к повышению мобильности загрязнения), и др. [66].

В зависимости от выводимого из эксплуатации ОИАЭ, особенностей площадки и этапа работ КМП может быть применена в нескольких аспектах (рис. 22):

- для характеристики площадки с точки зрения её загрязнения, в том числе определения завершённых и незавершённых путей воздействия;
- для расчёта прогнозируемых доз облучения персонала и населения на основе реалистичных сценариев использования площадки и прилегающей территории;
- для разработки и оптимизации проекта производства работ на площадке, включая использование отдельных её участков в тех или иных целях;
- для поддержания актуальных данных о загрязнении площадки, в том числе состоянии загрязнённых и незагрязнённых участков, в процессе проведения работ по выводу из эксплуатации;
- для планирования заключительного обследования с целью подтверждения достижения конечного состояния.

Для площадок, где одновременно находятся эксплуатируемые и выводимые из эксплуатации ОИАЭ, КМП может быть полезна как обобщающий образ происходящих на площадке изменений (если создаётся КМП для всей площадки), либо как источник данных об отдельных её частях. Если помимо поверхностного загрязнения конструкций и грунта имеются утечки, нарушены барьеры безопасности и(или) загрязнение отмечено за пределами площадки, то предстоят более масштабные работы по очистке площадки и реабилитации прилегающей территории, и КМП будет содействовать планированию и сопровождению таких работ. КМП может быть востребована и для случаев, когда работы ведутся в течение продолжительного времени, а также имеются участки, требующие как активных, так и пассивных мер реабилитации.

Оценка риска. Оценки риска давно занимают прочное место среди разнообразных исследований, адресованных взаимодействию человека и окружающей среды, и являются основой для принятия многих управленческих решений. Оценки риска здоровью человека от неблагоприятных факторов окружающей среды могут выполняться в разрезе конкретного вещества или фактора, объекта или совокупности объектов, территории и т.п. Оценка риска также подразумевает создание концептуальной модели, описывающей взаимосвязи между источниками загрязнения окружающей среды, маршрутами воздействия и



Рисунок 22. Иллюстрация возможного использования КМП при выводе из эксплуатации

экспонируемыми группами населения, описание роли концептуальной модели представлено в работе [67]. КМП для загрязнённой площадки может создаваться непосредственно с целью оценки риска, представляемого этой площадкой. Но в современной практике оценка риска выступает только частью процесса реабилитации и проводится не сама по себе, а для определения дальнейших действий с площадкой. Поэтому при реабилитации КМП в большей степени фокусируется на содержании вредных веществ в компонентах природной среды и физических, химических и иных процессах, определяющих перенос загрязнения.

Оценка воздействия на окружающую среду. При проведении оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) рассматриваются многие из тех аспектов, которые находятся в поле зрения КМП. Разделы ОВОС включают описание намечаемой деятельности, характеристику района её проведения в части местоположения объектов, состояния отдельных компонентов природной среды, социально-экономических условий, наличия территорий с экологическими ограничениями и др. Соответственно, КМП может быть использована при подготовке и проведении ОВОС. Это позволит избежать дублирования действий и сэкономить ресурсы. Если КМП не создавалась, то материалы ОВОС могут стать составной частью информации для подготовки КМП на более позднем этапе.

Коммуникация с заинтересованными сторонами. КМП является удобным инструментом, с помощью которого можно визуализировать проблему для её понимания неспециалистами. При этом КМП – это не упрощение для публики, это резюме того, что представляет собой проблемная площадка в понимании экспертов.

Приведём такой пример. В 2019 г. в Москве большую обеспокоенность жителей и заинтересованной общественности вызвали планы прохождения Юго-Восточной хорды на участке вблизи платформы Москворечье Курского направления. Проблемный участок расположен между самой платформой и нынешней территорией Московского завода полиметаллов, который ранее размещал там свои отходы. В связи с наличием в отходах радионуклидов радия, урана и тория в ряде мест на прилегающей к заводу территории отмечен повышенный радиационный фон. Общественность заявляла о радиационной опасности, связанной со строительством и возможным разносом радиоактивных веществ далеко за пределы участка. Противостояние с московскими властями продолжалось в течение всего года, хотя дополнительные дозы облучения и

радиационные риски были малы, что и подтвердили выполненные ИБРАЭ РАН оценки [68]. Если бы для данной территории была разработана и визуализирована КМП с описанием «источник-путь-рецептор», то вести предметный диалог с заинтересованными сторонами было бы намного проще и эффективнее.

Обоснование долгосрочной безопасности. КМП используется не только для поддержки текущей деятельности по реабилитации, но и для моделирования потенциального воздействия объектов на окружающую среду в долгосрочной перспективе. Создание таких КМП сходно с подходами, применяемыми для обоснования долговременной безопасности пунктов захоронения РАО [69], и включает анализ особенностей, событий и процессов. Примером может служить КМП для площадки West Valley в США [70], на которой ядерная деятельность осуществлялась с 1961 по 1986 г. (переработка ОЯТ в период 1966-1972 гг., захоронение РАО в периоды 1963-1975 и 1982-1986 гг.). Основной вопрос связан с тем, оставить ли в месте размещения некоторые из находящихся там РАО и имеющееся загрязнение компонентов природной среды либо следует удалить и переместить их. На первом этапе определены особенности, события, процессы, а также сценарии, которые могут повлиять на дозы облучения населения и биоты и химические риски для человека и окружающей среды. КМП выявляет потенциально важные механизмы и процессы, которые влияют на связанные с отходами дозы облучения и риски в течение продолжительных периодов (тысяч лет после закрытия), и в свою очередь является основой для создания вероятностной модели долгосрочного поведения площадки с позиций распространения загрязнения в окружающей среде. Вероятностная модель сможет оценивать эффективность предлагаемых реабилитационных мер, включая удаление загрязнения, с точки зрения их последствий в будущем. Модель будет вбирать в себя неопределённости относительно текущих знаний об отходах, экологических особенностях, событиях и процессах, которые влияют на перенос загрязнений, и др.

Касательно временных периодов отмечается, что Комиссия по ядерному регулированию (она лицензирует часть объектов площадки West Valley) при прекращении лицензии определяет период эффективности мер в 1000 лет (*прим. авторов: то есть период, в течение которого сооруженные барьеры безопасности будут выполнять свои функции должным образом*). При этом лица, принимающие решения, хотели бы понимать масштабы воздействия, когда бы оно не произошло. КМП для площадки West Valley учитывает, среди прочих долгосрочных факторов, модели климатических изменений и утрату знаний о площадке. В отношении последних указывается, что ситуации, в которых такие знания утрачиваются, а также время, когда это может произойти, не ясны. Обычно предполагается, что утрата знаний происходит одновременно с утратой ведомственного контроля. Например, непреднамеренное вторжение может случиться при бурении водозаборной скважины для домашних нужд. Контакт с загрязнённым материалом может произойти и в случае выемки грунта для обустройства фундамента и подвальных помещений, причем при строительстве индивидуального жилья глубина котлована будет относительно невелика и может не достичь захоронений, тогда как при строительстве промышленных или административных зданий она будет больше. Фактор утраты знаний важен для определения рецепторов и характера землепользования и, соответственно, расчёта доз. Так, если оценки доз вести на популяционном уровне, то пространственная область вероятностной модели будет гораздо шире, чем в случае нахождения наиболее облучаемого индивида непосредственно на площадке. При утрате ведомственного контроля прямой контакт с отходами может произойти и при процессах эрозии, в этом случае пространственная область также будет шире.

При оценке воздействия на человека КМП для площадки West Valley рассматривает потенциальных пользователей площадки и прилегающей территории. Определение таких рецепторов, как указывается в [70], необходимо основывать на исторических и современных сценариях землепользования, которые являются индикаторами вероятного использования в будущем. КМП для площадки West Valley подробно анализирует эти сценарии и привязанные к ним пути воздействия. Вызовом в отношении сложной площадки с разнообразными сценариями использования называется то, что необходимо сфокусироваться на тех сценариях, которые в наибольшей степени повлияют на принятие решений. Основной тип землепользования на прилегающей к площадке территории – сельскохозяйственный. Но есть и участки, на которых осуществляется постоянное проживание, промышленная и коммерческая деятельность, а также имеются лесные участки и участки для рекреационной деятельности. Люди могут входить в контакт с загрязнением через различные компоненты природной среды, уровень воздействия будет зависеть от нахождения на площадке и на затронутых загрязнением территориях, видов деятельности и поведенческих привычек, концентраций загрязнителей в различных компонентах природной среды, стабильности и токсичности этих загрязнителей с течением времени.

Ранее применительно к площадке был выполнен анализ воздействий на краткосрочный период (время выполнения работ по выводу из эксплуатации), в котором рассматривались работники на площадке, наиболее облучаемый индивид с нахождением на границе площадки и население в 80-км радиусе. Также был проведён анализ на долгосрочный период, который объединил несколько моделей: модель грунтовых вод с распространением загрязнения от источников на площадке к различным рецепторам, модель эрозии и модель прямого вторжения. Оценки не включали рассмотрение прямого контакта с загрязнён-

ным материалом вследствие эрозии или земляных работ. В КМП для площадки West Valley использован другой подход к моделированию воздействий, при этом прежние разработки могут служить иллюстрацией возможных сценариев. В КМП отмечается, что пока сохраняется ведомственный контроль, непосредственно к территории площадки могут быть применены сценарии только для находящихся там работников, тогда как после утраты контроля не исключены любые из ранее рассмотренных сценариев. В КМП на этом этапе будут использоваться относительно простые сценарии, которые далее получат, при необходимости, более детальное развитие в вероятностной модели.

Сценарий, при котором после утраты контроля возможен наиболее высокий уровень воздействия как на территории самой площадки, так и за её пределами (помимо прямого контакта с отходами при земляных работах или эрозии), это сценарий проживания фермера. Предполагается, что есть сельский дом со скважиной для воды, огородом, домашними животными, также фермер может заниматься охотой и рыбалкой. Возможные пути воздействия для этого сценария включают:

- пероральный путь за счёт: случайного попадания почвы, донных отложений и пыли (т.е. руки-рот), потребления воды из скважины, потребления овощей, потребления фруктов, потребления мяса, потребления молока, потребления домашней птицы, потребления яиц, потребления рыбы и диких животных;
- ингаляционный путь за счёт вдыхания газов и пыли;
- путь через кожные покровы за счёт контакта с поверхностными водами, почвой, донными отложениями;
- внешнее облучение от почвы и донных отложений [70].

Если фермер находится непосредственно на площадке, в продукции домашнего хозяйства можно учесть полив водой из скважины, если фермер находится за её пределами, то полив может осуществляться как из скважины, так и из поверхностных источников. Важным для оценки путей воздействия при нахождении на площадке является ингаляционный путь за счёт радона (в том случае, если дом будет стоять прямо над хранилищем отходов, где возможна такая цепочка распада).

Сценарии, не связанные с проживанием, включают посещение территории с рекреационными целями. Для рекреационного сценария пути воздействия включают:

- пероральный путь за счёт случайного попадания почвы, донных отложений и пыли (т.е. руки-рот);
- потребление воды из поверхностных источников;
- потребление рыбы и диких животных;
- ингаляционный путь за счёт вдыхания пыли;
- путь через кожные покровы за счёт контакта с поверхностными водами, почвой, донными отложениями;
- внешнее облучение от почвы и донных отложений [70].

Сценарии с другими рецепторами, такими как рабочий по бурению скважин, представитель коренной нации, осуществляющий традиционный промысел рыбы, и др., отдельно в КМП не рассматриваются, поскольку они не приводят к более высокому уровню воздействия по сравнению с фермером. Если требуется, они будут детализированы в вероятностной модели.

Что касается экологических рецепторов, они в вероятностной модели будут рассмотрены более подробно по сравнению с ранее произведённым анализом. Будут выполнены оценки как радиационного, так и химического загрязнения, экологические оценки будут включать соответствующий перечень наземной, земноводной и водной фауны, включая уязвимые виды или популяции. Оценке подлежат как будущие, так и прошлые и настоящие выходы загрязнения в окружающую среду, оценка экологического риска не ограничится площадкой и будет включать потенциально затронутые территории.

Что касается применения сценариев, то воздействие на рецепторов, находящихся за пределами площадки, будет оцениваться на протяжении всего временного диапазона. Предполагается, что фермер будет находиться за пределами зоны ведомственного контроля в месте, которое подходит с точки зрения топографии для занятия фермерством и где ожидаются наиболее высокие концентрации загрязнителей в компонентах природной среды. Что же касается фермера, который будет находиться непосредственно на площадке, то моделирование будет учитывать пространственно-временные факторы, поскольку каждый из объектов на площадке West Valley имеет свои уникальные характеристики с точки зрения топографии, типов отходов и их мобильности, а также свойств существующих и планируемых сооружений защитных экранов.

Вероятностная модель будет предусматривать фиксацию доз и рисков для человека в определённые временные интервалы, такие как 1000 и 10 000 лет после закрытия. В соответствии с регулирующими требованиями при моделировании нужно брать временные рамки для определения пиковых значений доз и риска. Пиковые значения наступят для различных рецепторов в разное время, и это будет отражено в модели. В качестве нулевого года для отчета выбран 2020 год.

Нами достаточно подробно рассмотрен пример КМП для площадки West Valley, поскольку сходные задачи придётся решать и для российских площадок. В следующем разделе мы кратко представим подходы к определению сценариев и рецепторов для одного из таких объектов.

4.3 Пример использования КМП для пункта хранения РАО

Для многих российских ядерных объектов актуален вопрос судьбы пунктов хранения РАО, расположенных на промплощадках ОИАЭ или прилегающих к ним территориях. Примером может служить КЧХК, проблематику которого мы затрагивали в разделе 2. В настоящем разделе кратко рассмотрим подходы к обеспечению долговременной безопасности пунктов хранения РАО в части определения будущих рецепторов и разработки возможных сценариев использования территории. Примером послужит Сооружение 311 Ангарского электролизного химического комбината (АЭХК).

АЭХК – предприятие по производству обогащенного гексафторида урана, применяемого для изготовления топлива для атомных станций, расположено в г. Ангарск Иркутской области (рис. 23). Имеющиеся программы вывода из эксплуатации (здания 802, 804 как части ядерной установки разделительного производства, сублиматное производство) предусматривают вывод из эксплуатации по варианту ликвидации со снятием регулирующего контроля, дальнейшее использование высвобождаемых участков не связано с деятельностью в области использования атомной энергии. В последние годы АЭХК активно развивает неядерные проекты.

Сооружение 311 – это комплекс из шести приповерхностных хранилищ, находящихся в пределах санитарно-защитной зоны АЭХК за периметром основной площадки комбината с северо-восточной стороны (рис. 24). Шламохранилища предназначались для накопления и отстоя осадков известковой суспензии, сооружения 1-2 выведены из эксплуатации и рекультивированы, остальные находятся на различных стадиях вывода из эксплуатации. Подробное описание объектов сооружения 311 и состояния участка их размещения представлено в работе [72].

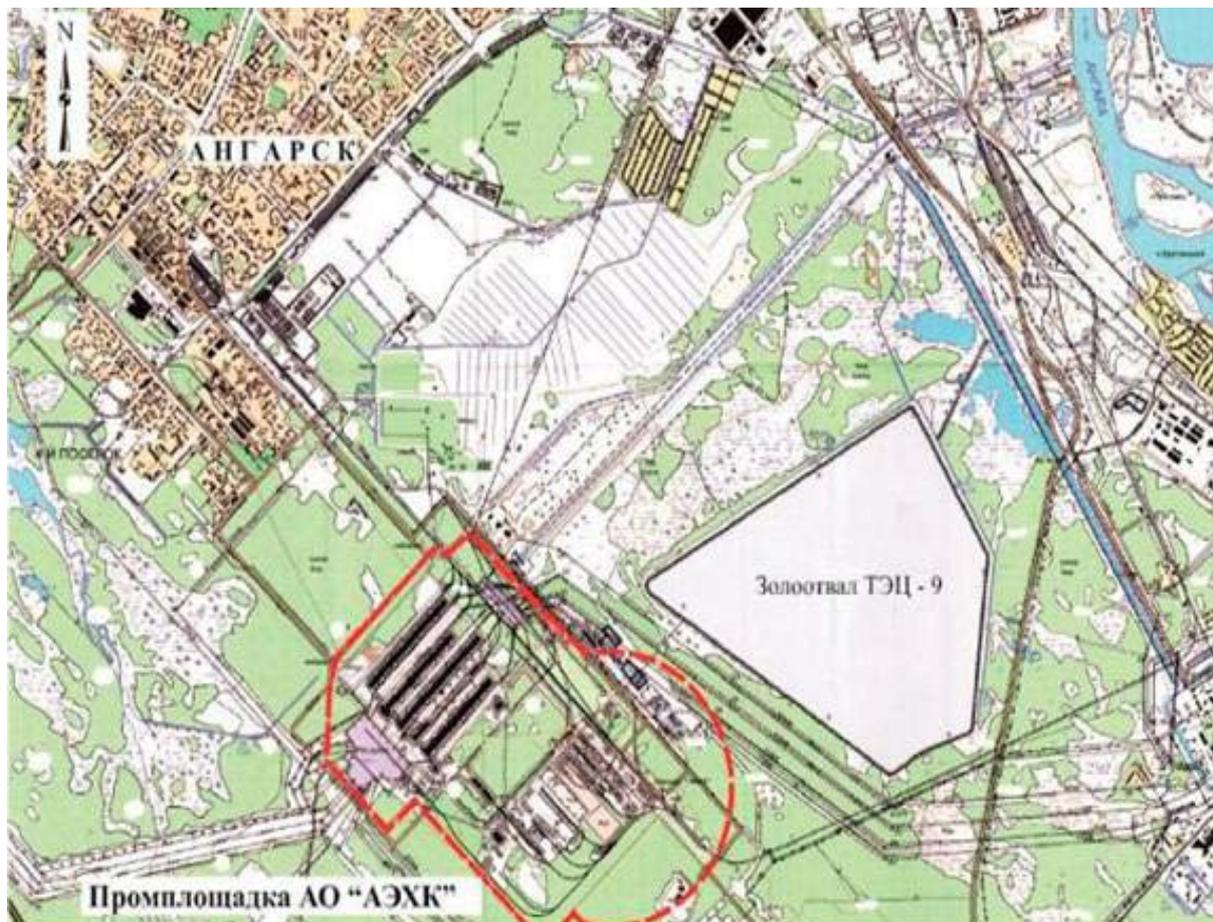


Рисунок 23. Ситуационная карта расположения АО «АЭХК» [71]

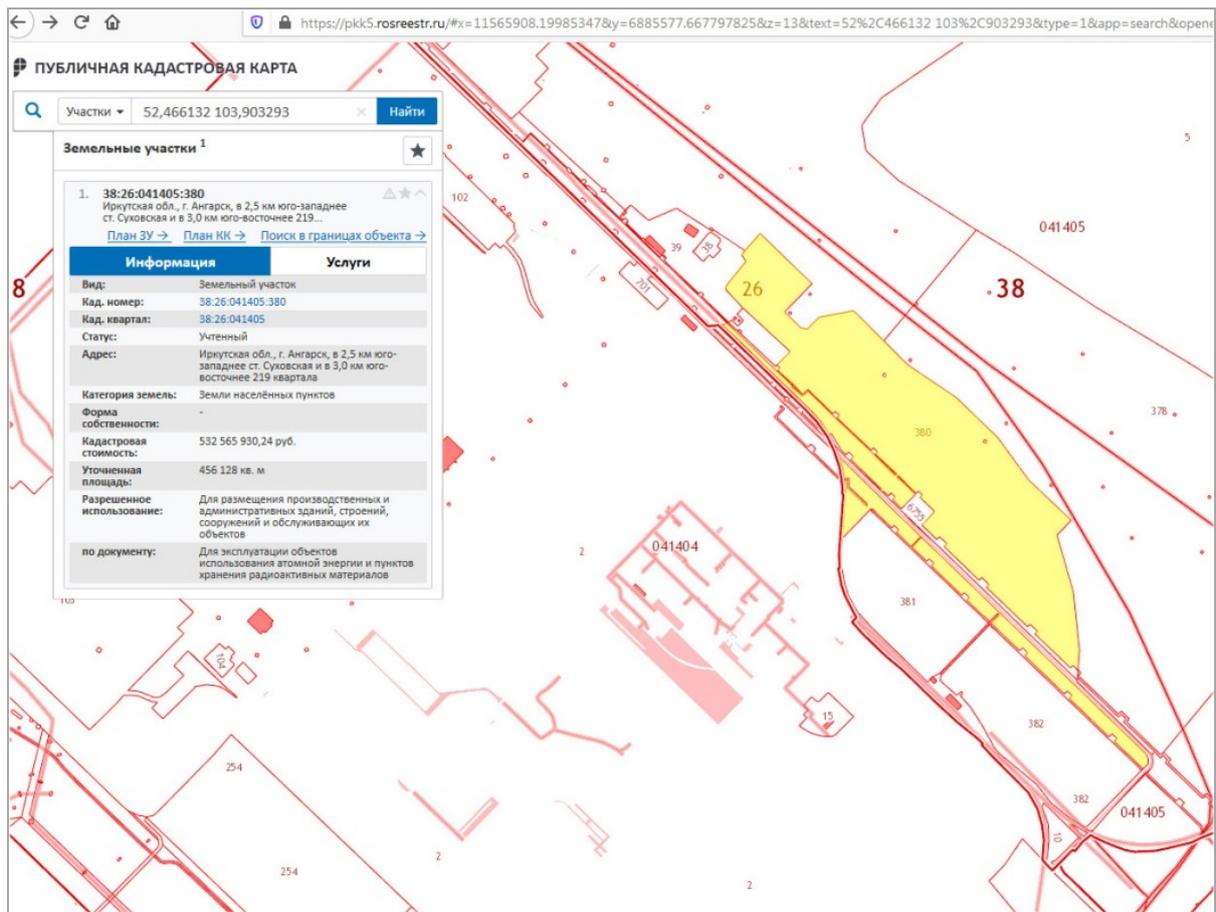


Рисунок 24. Земельный участок шламохранилищ на публичной кадастровой карте [31]

В настоящее время не принято решений об окончательной судьбе шламохранилищ. В соответствии с НП-097-16 [73] вывод из эксплуатации пункта хранения РАО должен осуществляться по вариантам «Немедленная ликвидация ПХ РАО» или «Отложенная ликвидация ПХ РАО». При этом требования НП-097-16 распространяются на пункты долговременного хранения РАО, расположенные на территории ядерных установок и не предусмотренные в их проектной документации (что не вполне относится к Сооружению 311). Сооружение 311 находится в городской черте Ангарска, что не позволяет отнести размещенные там отходы к особым. Вместе с тем, решение о перемещении выглядит логичным в связи со значительными объемами РАО, оно может быть принято при изменении норм в части нахождения особых РАО на землях населенных пунктов либо при изменении статуса земельного участка. Сравнение затрат и рисков для вариантов удаления РАО и нахождения на месте, насколько нам известно, не проводилось, однако очевидно, что извлечение, кондиционирование и транспортирование таких объемов в пункт захоронения связаны со значительными экономическими затратами, которые потребуются покрывать из федерального бюджета. В случае отнесения РАО к особым потребуются обоснование радиационной безопасности пункта хранения с последующей реализацией комплекса инженерно-технических решений по переводу пункта долговременного хранения в пункт захоронения РАО.

При рассмотрении влияния Сооружения 311 на население и окружающую среду в долговременной перспективе может быть использован подход на основе КМП. Для описания «источник-путь-рецептор» нет данных в части предполагаемых к сооружению инженерных барьеров, включая конструкцию и мощность защитных экранов. Моделирование миграции радионуклидов из хранилищ с грунтовыми водами выполнено в [72], а также проводится в ИБРАЭ РАН. Нами предложены подходы к разработке сценариев использования площадки для определения рецепторов и путей воздействия.

Логика подхода определяется следующим. Мы исходим из того, что территория АЭХК будет использоваться в промышленных целях с сохранением регулирующего контроля над значительной её частью в течение десятилетий (рис. 25). Город Ангарск с населением 225 тыс. человек является крупным промышленным центром и имеет выгодное географическое расположение, и в силу этого останется территорией проживания населения на протяжении длительного времени. Из этого можно сделать вывод, что ведомственный контроль и соответствующие знания не будут утрачены в обозримом будущем (мы оценочно

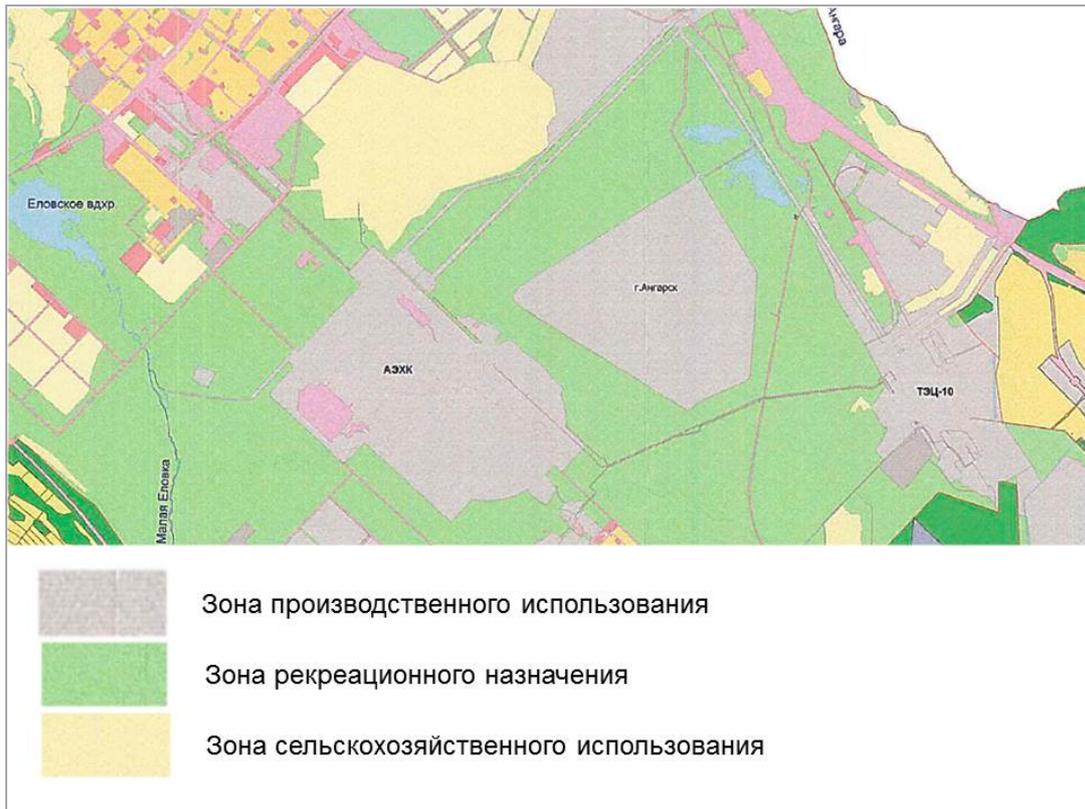


Рисунок 25. Фрагмент карты функциональных зон г. Ангарска в соответствии с Генеральным планом Ангарского городского округа Иркутской области [74]

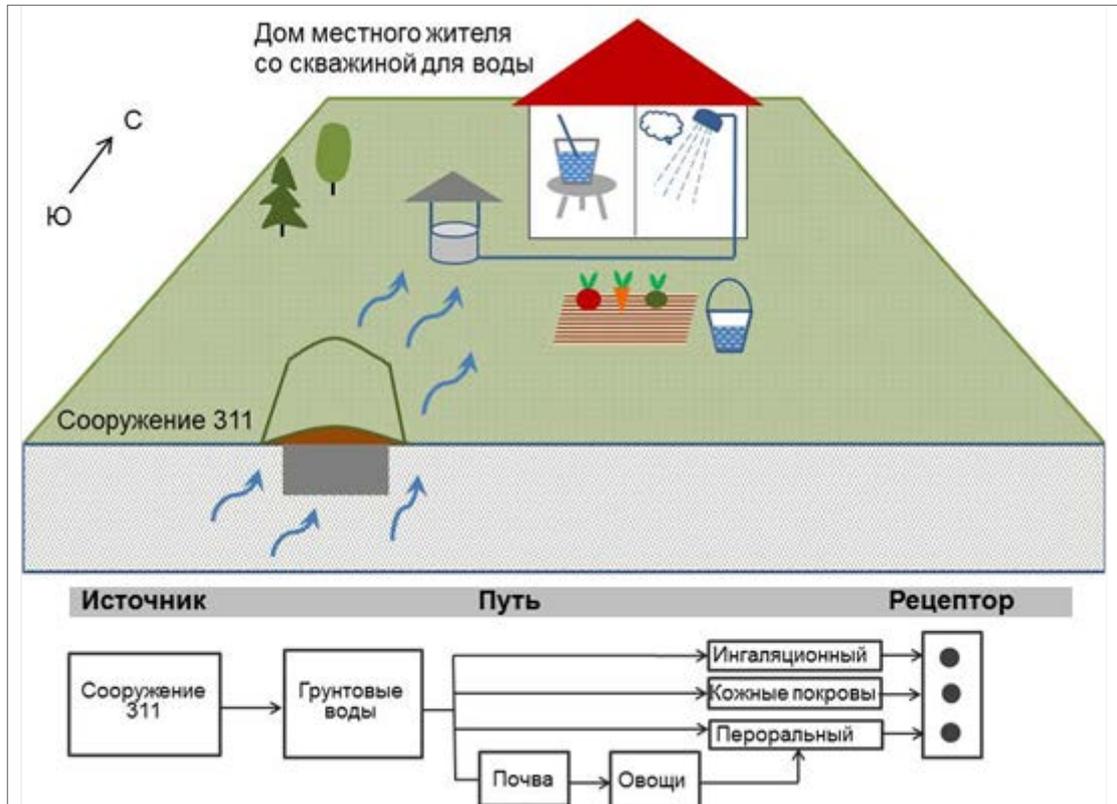


Рисунок 26. Сценарий для местного жителя, проживающего вблизи Сооружения 311 через несколько столетий после его закрытия

определяем этот период в 300 лет), и на территории Сооружения 311 с защитным экраном будет исключено проживание, промышленная и сельскохозяйственная деятельность. Для этого периода максимально приближенным к площадке рецептором из числа населения может быть местный житель, построивший дом на небольшом расстоянии от Сооружения 311. С тем, чтобы учесть влияние миграции из хранилищ с потоком грунтовых вод, располагаем рецептора севернее Сооружения 311 (рис. 26).

Возможные пути облучения местного жителя привязаны к использованию воды из скважины и включают:

- пероральный (питьевая вода);
- пероральный (потребление овощей и корнеплодов с приусадебного участка, на котором происходит загрязнение плодородного слоя почвы ураном за счёт использования для полива воды из скважины);
- ингаляционный (радон в воздухе помещений – ванная комната/душ);
- кожные покровы (использование воды в санитарно-бытовых целях – ванная комната/душ).

Соответственно, для этого сценария в КМП необходимо сосредоточить внимание на моделях грунтовых вод с тем, чтобы спрогнозировать максимально возможные концентрации радионуклидов в скважине, расположенной на определённом расстоянии от границ Сооружения 311 (мы предполагаем, что расстояние 50-100 м является реалистичным), и на основании этого провести сравнение с нормативами для питьевой воды и оценить потенциальные дозы облучения. Другие сценарии для периода в 300 лет могут быть разработаны при определённых вариантах конечного состояния площадки, которое в настоящее время не определено. Так, в Германии вариантом будущего использования территории реабилитируемых урановых хвостохранилищ являлось рекреационное использование. Вместе с тем мы полагаем, что поскольку прямое вторжение не планируется, то такие пути воздействия при нахождении на площадке, как внешнее облучение, пероральное поступление с пылью и почвой, будут либо неактуальными либо мало-значимыми.

Если рассматривать более отдалённый период, то следует принять вероятность утраты ведомственного контроля и знаний. Отметим, что эта проблема не решена ни в одной стране, упор в последние годы делается на более тщательной инженерной проработке решений для обеспечения стабильности защитных экранов. Для оценки доз наиболее облучаемого индивида традиционно используется сценарий проживания на территории с использованием воды из скважины, производством домашних продуктов и пр., как это описано в КМП для площадки West Valley. Можно также рассматривать сценарии, при которых территория залесена естественным образом и используется для сбора грибов и ягод или же распахивается для земледелия.

Заключение

КМП является международно признанным инструментом, применяемым при планировании и ведении деятельности по реабилитации загрязнённых территорий. Подход на основе КМП позволяет систематизировать, интерпретировать и актуализировать имеющуюся информацию о загрязнённой площадке в соответствии с поставленными целями. Фокусируя внимание на путях переноса загрязнений в окружающей среде от источника к рецепторам, КМП способствует лучшему пониманию особенностей функционирования конкретной площадки как единого, сложного и зачастую уникального объекта.

КМП зафиксирована в большом числе зарубежных руководств и является, по сути, общим языком команды специалистов, регуляторов и других заинтересованных сторон в обсуждении и решении проблем загрязнения окружающей среды. Диапазон использования КМП не ограничен решением задач, связанных с реабилитацией. В широком смысле КМП востребована тогда, когда в результате деятельности человека может происходить попадание в окружающую среду загрязняющих веществ, и необходимо принятие определённых решений.

Использование КМП способствует ответам на многие сложные и неоднозначные вопросы, которые неизбежно возникают в отношении участков как с предполагаемым, так и выявленным загрязнением. Эти вопросы актуальны для всех заинтересованных сторон – операторов, регуляторов, общественности. Пожалуй, одни из главных, это оценка уровня исходного загрязнения (насколько грязно есть грязно и для кого именно) и определение критериев конечных состояний (насколько чисто есть чисто и для кого именно). КМП представляет собой инструмент, который, при наличии соответствующей информации, наглядно показывает, есть ли проблема и в чём она состоит. Таким образом, КМП помогает обосновать необходимость реабилитации (либо отсутствие такой необходимости) и оптимизировать реабилитационные мероприятия. В отношении радиационной защиты повторим, вслед за многими специалистами, что оптимизация не есть минимизация доз облучения, и важно избегать решения несуществующих проблем и реализации явно избыточных мероприятий.

Область применения КМП включает площадки с разными видами загрязнения любого размера и сложности – от небольшого пятна загрязнения на заводской территории до уникальных по составу объектов ядерного наследия. В зависимости от этого разработка КМП может потребовать принципиально различных усилий, времени и средств. Важен, однако, сам подход, который базируется на описании «источник – путь – рецептор» на основе имеющейся информации с должным признанием неопределённостей. Что касается сложных площадок с длительным циклом работ и содержанием под наблюдением, то здесь КМП во многом сочленяется с подходами, которые используются для обоснования долговременной безопасности таких объектов, как пункты захоронения РАО.

В российской практике использование КМП может быть востребовано в нескольких аспектах:

- как эффективный инструмент планирования работ на различных площадках;
- как область компетенций российских специалистов;
- как демонстрация приверженности российского бизнеса, присутствующего на мировом рынке, лучшим практикам ведения работ.

КМП имеет, по мнению авторов, большой потенциал для использования на российских ядерных объектах в целях планирования и оптимизации работ на заключительных стадиях жизненного цикла. При знакомстве российских специалистов с этим инструментарием и расширении работ на объектах накопленного вреда окружающей среде он может быть успешно использован на площадках с любым типом загрязнений.

Благодарности

Авторы выражают свою благодарность проекту технического сотрудничества МАГАТЭ INT/9/183 и лично Хорсту Монкен-Фернандесу (Horst Monken-Fernandes) за проведение Межрегионального практического учебного курса по реализации проектов реабилитации (Пилотный проект школы реабилитации) в Аргоннской национальной лаборатории (США) в июле 2018 года [4] и блестящей команде организаторов и лекторов данного учебного курса. Авторы признательны Ph.D. Дон Велман (Dawn Wellman) за полезные комментарии по предварительной КМП КЧХК.

Авторы также благодарят Михаила Соколова [33] за возможность использования авторских фотографий.

Литература

1. Scientific Opportunities for Monitoring at Environmental Remediation Sites (SOMERS). Integrated Systems-Based Approaches to Monitoring. – DOE, May 2012. – 39 p.
2. Environmental Cleanup Best Management Practices: Effective Use of the Project Life Cycle Conceptual Site Model. EPA 542-f-11-011. – EPA, 2011. – 12 p.
3. Абалкина И.Л., Панченко С.В., Савкин М.Н., Ведерникова М.В., Крышев И.И. Социально и экологически приемлемые критерии реабилитации загрязненных территорий пунктов размещения особых радиоактивных отходов // Вопросы радиационной безопасности – 2017. № 3(87). – сс. 46-53.
4. Interregional Practical Training Course on Environmental Remediation Project Implementation, 16 – 27 July 2018. Argonne National Laboratory. URL: <https://international.anl.gov/training/indexE8.asp> (дата обращения 22.04.2020)
5. И.Л.Абалкина, С.В.Панченко. Концептуальная модель площадки как инструмент планирования работ по реабилитации. // Вопросы радиационной безопасности – 2020 (в печати).
6. Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. Том 1. / Под общ.ред. И.И.Линге и А.А.Абрамова. – М., ИБРАЭ РАН, 2017 г. – 366 с. с ил. – ISBN-5-9907220-4-0 (в пер.) URL: <http://фун-япб2030.рф/upload/iblock/5c8/5c8fd8cefde3c9d3d30dbe09d3ef15bb.pdf> (дата обращения 22.04.2020)
7. Soil quality – Conceptual site models for potentially contaminated sites. International Standard ISO 21365:2019. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:21365:dis:ed-1:v1:en>. (дата обращения 22.04.2020)
8. Radioactive Waste management Glossary; 2003 ed. – Vienna, IAEA, 2003. – 54 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1155_web.pdf (дата обращения 22.04.2020)
9. Management of radioactive waste from decommissioning of nuclear sites: Guidance on Requirements for Release from Radioactive Substances Regulation. Version 1.0: July 2018. – 98 p. URL: <https://www.sepa.org.uk/media/365893/2018-07-17-grr-publication-v1-0.pdf> (дата обращения 22.04.2020)

10. ASTM E1689-95(2014). Standard Guide for Developing Conceptual Site Models for Contaminated Sites, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. URL: www.astm.org (дата обращения 10.03.2020)
11. Guidelines on Conceptual Site Models. Northern Territory Environmental Protection Agency. November 2013. Version 2.0 URL: https://nstepa.nt.gov.au/_data/assets/pdf_file/0004/284674/guideline_pollution_conceptual_site_models.pdf (дата обращения 23.04.2020)
12. Technical Guidance for Preparation and Submission of a Conceptual Site Model August 2019. Version 1.1. New Jersey Department of Environmental Protection. URL: https://www.nj.gov/dep/srp/guidance/srra/csm_tech_guidance.pdf (дата обращения 23.04.2020)
13. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
14. IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection: 2018 Edition. – Vienna, IAEA, 2019. – 261 p. URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1830_web.pdf (дата обращения 23.04.2020)
15. Ohio EPA. Division of Environmental Response and Revitalization. Guidance Document. April 2015. Conceptual Site Models. – 9 p. URL: <https://epa.ohio.gov/portals/30/rules/CSM%20Guidance%204-27-15%20Final.pdf> (дата обращения 23.04.2020)
16. Conceptual Site Model Tool, NAVFAC Technology Transfer, Environmental Restoration 11 website URL: <https://t2.serdp-estcp.org/t2template.html#tool=CSM&page=S2> (дата обращения 24.04.2020)
17. Conceptual Site Model Tool, NAVFAC Technology Transfer, Environmental Restoration 11 website URL: <https://t2.serdp-estcp.org/t2template.html#tool=CSM&page=S4> (дата обращения 24.04.2020)
18. Dawn M. Wellman and Mike Truex. Evolving Conceptual Site Models: Hanford 300A Case Study. Energy and Environmental Directorate, Pacific Northwest National Laboratory. July 20, 2018. – Interregional Practical Training Course on Environmental Remediation Project Implementation. 16-27 July, 2018. Argonne National Laboratory, Argonne, IL, USA. URL: <https://international.anl.gov/training/indexE8.asp> (дата обращения 22.04.2020)
19. CEC Preliminary Assessment/Site Inspection (PA/SI) Webinar Series. Module 2: Basics of Performing Site Assessments and Conducting the PA PA/SI Webinar Series 2-6 Participant Manual Version: Summer 2014. URL: https://clu-in.org/conf/tio/CECPASi2_070214/prez/02-Basics-of-Performing-Site-Assessments-and-Conducting-the-PA-Participant.pdf (дата обращения 24.04.2020)
20. Т.Я.Ашихмина. Проблемы обеспечения радиационной безопасности населения Кировской области. В: Атомная энергия, общество, безопасность. Форумы-диалоги 2010. Сборник материалов. - М.: Изд-во АНО «Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли», 2011.
21. М.В. Попов, П.С. Игнатченко. Вывод из эксплуатации объектов Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «РосРАО» уральским филиалом ОАО «ГСПИ» – «УПИИ ВНИПИЭТ» (г. Озерск). <http://www.atomic-energy.ru/articles/2011/11/14/28609> (дата обращения 25.04.2020)
22. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. – Под общей редакцией Е.В.Евстратова, А.М.Агапова, Н.П.Лаврова, Л.А.Большова, И.И.Линге. – 2010 г. – 376 с. – Т.1 URL: http://www.fcp-radbez.ru/images/stories/FCP/materials/yadern_nasledie_t1.pdf (дата обращения 25.04.2020)
23. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома. – Под общей редакцией И.И.Линге и И.И.Крышева. – М.: «САМ полиграфист», 2015. – 296 с.
24. Концепция вывода из эксплуатации радиационно опасных объектов Кирово-Чепецкого отделения филиала «Приволжский территориальный округ» ФГУП «РосРАО», 2011.
25. Отчет по экологической безопасности за 2016 год. Филиал «Приволжский федеральный округ» ФГУП «РосРАО». Москва, 2017 – 49 p. URL: http://rosrao.ru/assets/lib/assets/lib/13/RosRAO_Eco_Reports-2016_PTO.pdf (дата обращения 25.04.2020)
26. Разработка инструментария для оценки риска загрязнения Кировского водозабора от радиационно-загрязнённых объектов КЧХК. Отчет ИБРАЭ РАН, договор Ц-ПЗ/03-08-13/09, 2009. – 94 с.
27. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2016 году: Региональный доклад. Под общей редакцией А.В.Албеговой. – Киров, 2017. – 207 с. URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/doklad.php> (дата обращения 27.04.2020)
28. Т. Ашихмина Е. Дабах Г. Кантор А. Лемешко С. Скугорева Т. Адамович. Состояние природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината. // Вестник Института биологии Коми Научного центра Уральского отделения РАН, 2012 № 3. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25919190> (дата обращения 27.04.2020)
29. Отчет о работе «Обследование загрязненных территорий, находящихся в пределах зон наблюдения предприятий и создание геоинформационной системы» (аннотационный). Этапы 5-9 в 4-книгах. Книга 2. Методологическое сопровождение объектного мониторинга состояния недр на 8-ми предприятиях, включенных в систему ОМСН в предыдущих годах. Этап 6 в 8-ми частях. Часть 5. Кирово-

- Чепецкое отделение ФГУП «РосРАО». Государственный контракт от 22.03.2013 г. № Д.4ш.21.22.13.1086. – Москва, ФГУП «Гидроспецгеология», 2013. – 61 с.
30. Отчет о работе «Обследование загрязнённых территорий, находящихся в пределах зон наблюдений предприятий, и создание геоинформационной системы» (аннотационный). Государственный контракт от 22.03.2013г. № Д.4ш.21.22.13.1086. Дополнительное соглашение № 1 от 11.02.2014 г. Инв. номер 1/44/2015. – Москва, ФГУП «Гидроспецгеология», 2015. – 65 с.
 31. Публичная кадастровая карта <https://pkk5.rosreestr.ru/>
 32. Интернет-ресурс <http://openstreetmap.ru/>
 33. Фотоматериал Михаила Соколова. URL: m-sokolov.ru (дата обращения 27.04.2020)
 34. Махонько К.П. Ветровой подъем радиоактивной пыли с земли. – Обнинск, НПО «Тайфун», 2008. – 427 с.
 35. Гендугов В.М., Глазунов Г.П. Ветровая эрозия почвы и запыление воздуха. – Физматлит, 2007. – 240 с.
 36. Панченко С.В., А.А. Аракелян, Е.А. Гаврилина, А.М. Шведов. Динамика параметров радиационной обстановки в сельском населенном пункте, загрязненном цезием-137 в результате аварии на чернойбыльской атомной электростанции в апреле 1986 года // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – Т.61 № 4, 2016. – сс. 5-18.
 37. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии (РБ-126-17). Рекомендуемые методы расчета параметров, необходимых для разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты. Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 июля 2017 г. № 281.
 38. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2019. 2019. – 169 p.
 39. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series No. 472. – Vienna, IAEA, 2010. – 194 p.
 40. Yankovich T, Beresford NA, Fesenko S, Fesenko J, Phaneuf M, Dagher E, Outola I, Andersson P, Thiessen K, Ryan J, Wood MD, Bollhöfer A, Barnett CL, Copplestone D. Establishing a database of radionuclide transfer parameters for freshwater wildlife // J Environ Radioact. 2013 Dec; 126: 299-313.doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.07.014.
 41. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife. TechnicalreportsseriesNo. 479. – Vienna, IAEA, 2014. – 211 p.
 42. Федеральное государственное унитарное предприятие «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО». Документация по проведению открытого запроса предложений в электронной форме на право заключения договора на выполнение работ по теме «Приведение в безопасное состояние объектов федерального государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО», находящихся на промышленной площадке открытого акционерного общества «Кирово-Чепецкий химический комбинат им. Б.П. Константинова» (г. Кирово-Чепецк Кировской области), подвергшихся радиационному воздействию в результате прошлой деятельности». Том 2 «Техническая часть». URL: <https://www.a-k-d.ru/tender/document/c4b2f6daf4c523fb9d84beda413fbfa5> (дата обращения 29.01.2020)
 43. Отчёт о выполнении НИР «Разработка адаптированных геофильтрационных и геомиграционных моделей для верификации расчётно-прогностического комплекса «Гидрогеология». Инв. № 4/1/2017. – ФГБУ «Гидроспецгеология». Договор от 28.06.2014 № 2017/1027/1. – 166 с.
 44. Ohio EPA. Division of Environmental Response and Revitalization. Guidance Document. April 2015. Conceptual Site Models. – 9 p. URL: <https://epa.ohio.gov/portals/30/rules/CSM%20Guidance%204-27-15%20Final.pdf> (дата обращения 29.04.2020)
 45. N.J.A.C. 7:26E. Technical Requirements for Site Remediation. Date last amended August 6, 2018. – 100 p. URL: https://www.nj.gov/dep/rules/rules/njac7_26e.pdf (дата обращения 29.04.2020)
 46. Use of Conceptual Site Models to Support EMA Effluent Permit Applications. Version 1.2. March 2018. Prepared by Ministry of Environment and Climate Change Strategy. – 23 p. URL: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/industrial-waste/industrial-waste/mining-smelt-energy/guidance-documents/csm_to_support_ema_permit_app.pdf (дата обращения 29.04.2020)
 47. British Columbia. Ministry of Environment and Climate Change Strategy. Information Requirements Table for EMA Mine Effluent Discharge Applications. – 13 p. URL: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/waste-management/waste-discharge-authorization/guides/irt/irt-min-01_irt_for_mining_effluent.pdf (дата обращения 29.04.2020)

48. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации.– Т.3. – Под общей редакцией Большова Л.А., Лаверова Н.П., Линге И.И. – Москва, 2015. – 316 с.
49. Абалкина И.Л., Линге И.И., Панченко С.В. К вопросу образования и обращения с РАО при реабилитации загрязненных территорий // Радиоактивные отходы. 2018. № 1(2). – С. 7-14.
50. Абалкина И.Л., Иорданов А.С., Панченко С.В. Формирование подходов к развитию правового регулирования вопросов реабилитации радиоактивно загрязненных территорий. В сборнике: Ядерная и радиационная безопасность России. Тематический сборник. Москва, 2013. – С. 42-59.
51. Guide for Developing Conceptual Models for Ecological Risk Assessments. Date Issued – May 1996. Prepared for the U.S. Department of Energy Office of Environmental Management under budget and reporting code EW 20. URL: <https://rais.ornl.gov/documents/tm186.pdf> (дата обращения 30.04.2020)
52. IAEA SAFETY STANDARDS SERIES No.WS-G-3.1. Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Practices.Safety Guide. – IAEA, Vienna, 2007. – 39 p.
53. Remediation Strategy and Process for Areas Affected by Past Activities or Events. Draft Safety Guide DS468. IAEA, 2019-09-08. URL: https://www-ns.iaea.org/committees/files/draftcomments/1946/DS468_RemediationStrategyandProcessforAreasAffectedbyPastActivitiesorEvents_Step11Clean.pdf (дата обращения 12.09.2019)
54. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53123-2008 (ИСО 10381-5:2005) «Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы». Утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18.12.2008 г. № 543-ст.
55. Сайт Международной организации по стандартизации <https://www.iso.org/standard/32427.html> (дата обращения 30.04.2020)
56. Сайт Международной организации по стандартизации <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18400:-202:ed-1:v1:en> (дата обращения 30.04.2020)
57. Правила организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 04.05.2018 № 542)
58. Правила проведения рекультивации и консервации земель (утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 10.07.2018 № 800)
59. Постановление Правительства Российской Федерации «О рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» от 23.02.1994 № 140.
60. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Положения о порядке консервации земель с изъятием их из оборота» от 02.10.2002 № 830.
61. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утв. Президентом Российской Федерации 30.04.2012)
62. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения» (НП-091-14) (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.05.2014 г. № 216)
63. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии РБ-159-19 «Рекомендации по проведению комплексного инженерного и радиационного обследования объекта использования атомной энергии» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.11.2019 г. № 432)
64. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии РБ-160-19 «Рекомендации по разработке программы комплексного инженерного и радиационного обследования объекта использования атомной энергии» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28.10.2019 г. № 412)
65. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии РБ-124-16 «Рекомендации по проведению заключительного обследования выводимого из эксплуатации объекта использования атомной энергии» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.12.2016 г. № 532)
66. Strategic Considerations for the Sustainable Remediation of Nuclear Installations. NEA No. 7290. – OECD, 2016. – 109 p.
67. Практические рекомендации по вопросам оценки радиационного воздействия на человека и биоту. Под общей редакцией И.И. Линге и И.И. Крышева. – 2015 г. – 265 с.
68. Арон Д. В. Радиоактивное загрязнение грунта на участке строительства Юго-Восточной хорды: оценка и прогноз состояния радиационной безопасности населения / Д. В. Арон, Е. А. Ильичев, В. П. Меркушов, И. И. Линге, Е. М. Мелихова, С. В. Панченко, А. М. Шведов, А. В. Шикин – (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом.энергетики РАН, № ИВРАЕ-2020-01). – М.: ИБРАЭ РАН, 2020. – 44 с. – URL: <http://ibrae.ac.ru/pubs/153/> (дата обращения 02.05.2020)

69. И.Л.Абалкина, Л.А.Большов, И.В.Капырин, И.И.Линге, Е.А Савельева, В.С. Свительман, С.С.Уткин. Обоснование долговременной безопасности захоронения ОЯТ и РАО на 10 000 и более лет: методология и современное состояние. Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2019-03. – М, ИБРАЭРАН, 2019. – 40 с.
70. Conceptual Site Model for the West Valley Site. 23 June 2017. – Prepared by NEPTUNE AND COMPANY, INC. – URL: https://www.wv.doe.gov/Document_Index/PPA/West%20Valley%20CSM%20R3.pdf (дата обращения 02.05.2020)
71. Вывод из эксплуатации корпуса 2, здание № 802 и корпуса 4, здание № 804 как части ЯУ производства разделения изотопов урана АО «АЭХК». Проектная документация. Оценка воздействия на окружающую среду. – 2017. – 213 с. URL: http://www.aecc.ru/attachments/article/1084/00158-002-802-OBOC_m.pdf (дата обращения 06.05.2020)
72. Шемелина О.В. Закономерности миграции урана в низкоактивных хранилищах отходов (на примере АО АЭХК). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Новосибирск, 2019. – 154 с. URL: https://www.igm.nsc.ru/images/diss/loadfiles_dzubenko/shemelina/diss-shemelina.pdf (дата обращения: 06.05.2020)
73. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к обеспечению безопасности при выводе из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов» (НП-097-16) (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21.07.2016 г. № 304)
74. Генеральный план Ангарского городского округа Иркутской области. Приложение №1 к решению Думы Ангарского городского округа от 23.03.2016 № 159-14/01рд. URL: https://angarsk-adm.ru/administratsiya/struktura/upravlenie_arkhitektury_i_gradostroitelstva/activity/AGO%20-%20genplan.pdf (дата обращения: 06.05.2020)