

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н. А.В. Чеснокова на диссертационную работу Уткина Сергея Сергеевича «Обоснование решений по долговременной безопасности крупных хранилищ жидких радиоактивных отходов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» в диссертационный совет Д 002.070.01.

Темой диссертационной работы С.С. Уткина «Обоснование решений по долговременной безопасности крупных хранилищ жидких радиоактивных отходов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук, является важная и актуальная проблема обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды в местах размещения крупных хранилищ жидких радиоактивных отходов (ЖРО), возникших в период ускоренного развития ядерных технологий для военных и мирных целей. В качестве основы для решения этой проблемы разработаны научно обоснованные модели распространения радиоактивного загрязнения на различных стадиях жизненного цикла этих объектов, получивших название природно-техногенные водные комплексы (ПТВК). Методически обоснован и разработан научно-технический инструментарий прогнозирования поведения ПТВК при всех вероятных природных ситуациях, а также в случае развития возможных аварийных сценариев.

С практической точки зрения чрезвычайно важным было применение разработанных методов обоснования и прогнозирования поведения ПТВК для Теченского каскада водоемов (ТВК), по результатам которого были приняты решения по практической стабилизации его уровня и постепенного перевода к режиму консервации с целью создания условий для завершающего цикла жизни этого объекта – снятия с регулирующего контроля. Имея углубленную ориентацию на моделирование процессов распространения загрязнения при взаимодействии двух сред значительно различающихся по уровням загрязнения – вода водоемов и донные отложения, был разработан расчетно-мониторинговый комплекс «ТКВ-Прогноз» для управления состоянием ТКВ, учитывающий всю совокупность процессов и явлений, важных с точки зрения обеспечения его безопасности.

Важным практическим результатом работы явилась разработка утвержденного генеральным директором Госкорпорации «Росатом» «Стратегического мастер-плана решения проблем Теченского каскада водоемов» и мероприятий Федеральной целевой

программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года».

Предлагаемые автором методические и программные решения и разработки базируются на систематизации результатов прикладных научных исследований, выполненных как в России, так и за рубежом. Цели и задачи, решаемые в диссертации Уткина С.С., связаны с решением научной проблемы, заключающейся в прогнозировании значений доз облучения населения, проживающего в районе ТВК, при варьировании погодных условий и сбросов радиоактивных веществ в водную среду с целью принятия решений по защите населения и минимизации радиационного воздействия на окружающую среду при любом развитии ситуации вплоть до аварийного.

В данный момент в Российской Федерации поставлена задача создания новой технологической платформы развития атомной энергетики, которая невыполнима без решения проблем ядерного наследия в целом и в частности - поставленных выше задач применительно к крупным хранилищам ЖРО. Поэтому научная работа автора является безусловно актуальной, своевременной и практически значимой.

Диссертация Уткина С.С. включает введение, пять глав и заключение, изложенные на 230 страницах машинописного текста, содержит 24 таблицы и 66 рисунков, а также список литературы из 203 наименований.

Во введении автором определены цели и задачи диссертационной работы, обосновывается актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, представлен личный вклад автора, подтверждена достоверность и обоснованность выводов.

В первой главе представлен анализ существующей отечественной и международной систем обеспечения безопасности обращения с РАО с точки зрения решения проблем, относящихся к ядерному наследию, показана их государственная значимость и актуальность, вводится понятие ПТВК, дается их классификация. Показано, что наибольшие проблемы и неопределенности по показателям опасности характерны для ПТВК 1-го типа — поверхностные водоемы-хранилища ЖРО ($6,3 \cdot 10^{18}$ Бк). Систематизирована информация по значимым характеристикам ПТВК, характеризующим по разным аспектам состояние долговременной безопасности, среди которых: наличие долгосрочных стратегий и планов, соотношение в водном балансе

техногенных и природных компонент потерь и поступлений, роль биопроцессов, количество позиций регламентного и потенциально необходимого мониторинга, значимость и количество источников поступления активности. Определена и классифицирована совокупность ПТВК, которые могут быть использованы для отработки вопросов моделирования процессов и анализа рисков на всех этапах их жизненных циклов.

С точки зрения проблем ТКВ, предложен определенный нормативный статус этого объекта и, как следствие, урегулирован вопрос поступления радионуклидов в окружающую среду со стороны ТКВ, определены принципиальные трудности фундаментального и научного характера в понимании процессов, влияющих на эволюцию ТКВ под воздействием природных и техногенных факторов. Намечены практические проблемы определения водного баланса ТКВ и процессов его формирования, системного взаимовлияния элементов ТКВ, отклика ТКВ, в том числе по уровненному режиму и удельной активности основных дозообразующих радионуклидов, на внешние воздействия и возмущения, оказывающие основное влияние на прогнозы по безопасности и формируемым рискам.

Вторая глава диссертации посвящена описанию этапов, процессов и закономерностей жизненных циклов ПТВК как пунктов хранения РАО, а также выявления их особенностей в условиях нормальной эксплуатации и аварийных ситуаций. Сформулированы требования к математическим моделям, необходимым для прогнозирования эволюции объектов на весь период потенциальной опасности. Определены риски аварий природного и антропогенного характера, включая переполнение и вынос радиоактивной пыли при обнажении береговой линии. Для ТВК в рамках концептуального подхода приводится описание основных факторов, определяющих опасность ТВК, определены и оценены все процессы поступления радиоактивных веществ за его пределы. Рассмотрены общие закономерности современного и потенциального воздействия ТВК на человека и окружающую среду в условиях нормальной эксплуатации и аварийных ситуаций. Определены риски, формируемые в результате миграции радионуклидов в реку Теча и подземные воды. Показано, что ветровой вынос с поверхности воды и береговой линии пренебрежимо мал, негативное воздействие на биоту отсутствует, при этом длительная эксплуатация на повышенных отметках связана с рисками переполнения В-11 при возникновении

периода многоводных лет и приводит к повышенному поступлению ^{90}Sr в открытую гидросеть со сбросами.

На основе анализа особенностей жизненного цикла ТКВ установлено, что интегральная математическая модель, позволяющая прогнозировать риски радиационной опасности ТКВ для человека и окружающей среды, должна основываться на информации о поступлении в него ЖРО, прогнозах водности в регионе его расположения, расхода воды по обводным каналам, объемах и уровнях воды в водоемах, объемах фильтрации воды между водоемами ТКВ и обводными каналами, концентрации радионуклидов и химических веществ в воде и донных отложениях, годовом поступлении ^{90}Sr в реку Течу и прогнозе аварийного перелива. В результате анализа всех этих факторов сформированы требования к функционалу и особенностям разработки расчетного инструментария для прогноза эволюции ТКВ и его влияния на внешнее окружение.

Основной задачей **третьей главы** является моделирование природных и техногенных процессов, определяющих эволюцию ПТВК и их воздействие на внешнее окружение. Сложная совокупность процессов, происходящих в ПТВК всех типов, систематизирована в виде набора процессов, явлений, событий, параметров и характеристик, отвечающих за связь ПТВК с внешней средой, протекающих внутри ПТВК (главным образом, они связаны с взаимодействием жидкой и твердой фаз) и определяющих воздействие ПТВК на человека и объекты окружающей среды. Особое внимание уделено миграции радионуклидов в донных отложениях, т.к. именно они будут определять период потенциальной опасности ПТВК, после того когда произойдет очищение водной фазы. Определены основные процессы, которые необходимо учитывать при прогнозировании поведения ТКВ: перенос за счет механизмов диффузии (молекулярная диффузия, гидродинамическая дисперсия, биотурбация); перенос за счет механизмов конвекции (скорость фильтрации); возможность нахождения радионуклидов в различных формах (обменная, необменная, растворенная, в виде «горячих», в том числе топливных частиц); прирост слоя донных отложений за счет оседания взвесей (в том числе биомассы гидробионтов-продуцентов) и кольматация нижерасположенных загрязненных слоев донных отложений; вынос радионуклидов за пределы моделируемого слоя; радиоактивный распад. На основе анализа рисков, выполненного во второй главе, в третьей главе выделены процессы, определяющие функционирование

ТВК на всех последующих стадиях жизненного цикла. К ним относятся: расход воды по обводным каналам; объем фильтрации воды между водоемами ТКВ и обводными каналами; – для моделирования прогноза объема и уровня воды в ТКВ; оценка вероятности переполнения замыкающего водоема В-11; концентрация радионуклидов в воде и донных отложениях ТКВ; определение годовых фильтрационных поступлений (сбросов) ^{90}Sr в реку Течу; анализ последствий аварийного перелива – для прогноза последствий текущих и аварийных ситуаций на пойменную систему реки Теча. Решение всех перечисленных проблем позволило разработать расчетно-мониторинговый комплекс «ТКВ-Прогноз» для управления радиационным состоянием ТВК, в котором модели всех этих процессов объединены в единую систему.

Четвертая глава посвящена этапам разработки расчетно-мониторингового комплекса «ТКВ-Прогноз» и описанию его возможностей. Комплекс включает блок формирования исходных данных, блок расчетных сценариев и блок представления результатов расчета и прогноз. Для обоснования оптимальной стратегии перевода ТКВ в конечное состояние был выполнен цикл расчетов по более чем 60 сценариям эксплуатации ТКВ, в которых считалось, что ежегодный техногенный отвод воды составляет от 0 до 10 млн м³/год; суммарная активность, поступающая в ТКВ, снижается разными темпами от 10^{14} Бк/год до нуля; уровни порогов-регуляторов и величина попусков по ЛБК варьируются в эксплуатационных пределах; при задании водности моделируются различные долговременные тренды (постоянный рост или уменьшение водности; примерное равенство осадков и испарений; случайные значений водности); экстремальные сочетания природных факторов, требующие применения методов управления, например, наступление сухого периода после периода повышенной водности и т.д. Основными выводами из результатов моделирования стали прогноз, что

- суммарный годовой сброс ^{90}Sr в реку Теча во всех расчетных сценариях ни разу не превысил значение 10^{12} Бк/год, что примерно в два раза ниже установленного норматива допустимых сбросов (ДС);

- при условии прекращения размещения в ТКВ дренажных и грунтовых вод жидкая фаза водоема В-11 очистится до уровня жидких промышленных отходов за интервал от 20 до 45 лет, В-10 – за время порядка 30 лет; донные отложения водоема В-10 очистятся до уровня твердых промышленных отходов за 170 лет, В-11 – от 100 до 120 лет;

- вероятность возникновения потребности в предупредительном противоаварийном сбросе воды В-11 с превышением показателя норматива допустимого сброса, установленного для условий нормальной эксплуатации, крайне мала, но не должна вычеркиваться из рассмотрения. При его заблаговременном нормативном оформлении можно учитывать, что дополнительным попуском по ЛБК возможно обеспечить разбавление воды до концентраций, при которых в створе с. Муслумово не будет превышено 10 уровней вмешательства (УВ), а в устье — 1 УВ через: 1) 15 лет после начала использования технологий водопонижения (отвод 7-10 млн м³/год); 2) 70 лет при отказе от этих технологий.

Эти результаты легли в основу обоснования для ТКВ основных этапов жизненного цикла, позволили дать прогноз его эволюции и разработать принципы управления его долговременной безопасностью.

В 5-ой главе диссертации определяются основные принципы комплексного управления долговременной безопасностью ПТВК на примере Теченского каскада водоемов. Наличие принципиально разных стратегий перевода ТКВ в конечное состояние определяется преимущественными способами обеспечения безопасности в первые 50–70 лет. Для ТВК качество барьеров безопасности характеризуется величиной фильтрационных потерь воды, миграцией радионуклидов в окружающую среду, радионуклидным и химическим составом подземных вод. При этом классические функции безопасности (удержание, обеспечивающее распад практически всей активности в пределах объекта, и изоляция, минимизирующая воздействие на человека и окружающую среду) реализуются в полной мере, несмотря на отсутствие матрицы отходов. Эти функции безопасности препятствуют поступлению содержащихся в ТКВ радионуклидов в окружающую среду в количестве, превышающем норматив на допустимый сброс, то есть, в конечном итоге, поступающих в биосферу в количествах, которые считаются незначительными с точки зрения радиологии.

Нормативное закрепление статуса водоемов ТКВ в рамках первичной регистрации РАО как пунктов размещения особых РАО предопределило обязанности эксплуатирующей организации по обеспечению безопасности. Исходя из полученных расчетов, принципов и подходов в главе 5 анализируются принципиальные направления технических решений, направленные на реализацию концепций удержания и изоляции: выход на ускоренное снижение удельной активности радионуклидов в воде водоемов В-

10 и В-11; управление уровнем воды В-11 с целью его стабилизации. По первому направлению решения включают ликвидацию или сокращение источников образования загрязненных вод и очистку оставшихся, а также минимизацию иных путей поступления загрязненных вод в В-10 и В-11 путем управления гидротехническими сооружениями. По второму направлению в качестве инструментов управления уровнем воды в регламентных отметках целесообразно рассматривать: установку очистки вод В-11 (многолетний непрерывный отвод значимых объемов — до 10 млн м³/год); возможности размещения ядерного энергетического комплекса, использующего воду водоемов В-10 и В-11 для охлаждения теплообменного оборудования и технических нужд; возможности управления гидротехническими сооружениями (снижение объемов поступления в ТКВ чистой воды из обводных каналов).

С точки зрения обеспечения безопасности были сформированы три разные стратегии:

- активное и скоординированное использование гидротехнических сооружений, включая модернизацию системы мониторинга, активное использование РМК «ТКВ-Прогноз»;

- многолетний непрерывный отвод значимых объемов (до 10 млн м³/год) дебалансных вод за счет очистки воды водоема В-11;

- контролируемое повышение объемов испарения при эксплуатации ядерного энергетического комплекса.

Предлагаемые стратегии были оценены по следующим критериям: темпы снижения рисков; затраты на реализацию; социально-экономические эффекты. Совокупное рассмотрение основных критериев показало, что первая стратегия (обеспечение безопасности ТКВ путем эксплуатации гидротехнических сооружений) наименее затратна и наименее зависима от экономической и политической конъюнктуры, при этом наиболее понятна и проработана, хотя и характеризуется большими по сравнению с другими радиоэкологическими рисками. Эту стратегию можно условно назвать «разумно умеренной»; фактически она реализуется в настоящее время и дает принципиально лучшие в сравнении с нулевой стратегией (меры управления не осуществляются) результаты. Для реализации третьей стратегии требуется больше всего ресурсов, она несет больше всего рисков и неопределенностей в процессе реализации и даже старта соответствующих работ, поскольку главные критерии принятия

решений лежат вне сферы обеспечения безопасности ТКВ. Однако именно в рамках реализации этой стратегии ТКВ превращается в полностью управляемый объект. Эта стратегия консервативна, масштабна и не сбалансирована по рискам. Вторая стратегия является промежуточной с точки зрения затрат, более легко реализуема, чем третья и практически идентична ей в части радиоэкологических преимуществ. В связи с этим по результатам рассмотрения для реализации рекомендована стратегия № 1 (приоритетная) с переходом на стратегию № 2 (резервная) при неблагоприятных метеоусловиях.

Основные мероприятия приоритетной стратегии включены и реализуются в настоящее время в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года», что позволит минимизировать вплоть до полного устранения следующие риски: увеличение сброса радионуклидов из ТКВ, связанное с несогласованностью действий при эксплуатации порогов-регуляторов и попусками по ЛБК; изменение законодательства в области обращения с РАО, радиационной безопасности человека и охраны окружающей среды; единовременное поступление на зеркало ТКВ аномального количества атмосферных осадков; исчерпание сорбционной емкости пород под дном ТКВ и телом плотины П-11; поступление в ТКВ новых видов ЖРО; взаимосвязь с другими объектами промышленной площадки ФГУП «ПО «Маяк» (водоемы В-2, В-9, В-17 и др., промышленные уран-графитовые реакторы и др.).

В **заключении и выводах** работы сформулированы основные результаты диссертационной работы. Разработанные положения исследования легли в основу «Стратегического мастер-плана решения проблем Теченского каскада водоемов ФГУП «ПО «Маяк», утвержденного Генеральным директором Госкорпорации «Росатом» 15 февраля 2016 г. Основные мероприятия стратегического мастер-плана ТКВ включены в реализующуюся в настоящее время федеральную целевую программу «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

Замечания и пожелания.

1. В диссертационной работе собран большой фактический исходный материал по ТКВ, на основе которого строились модели и выбирались наиболее критичные контролируемые параметры. Естественно исходные данные сильно влияют на точность прогноза. При этом вопросам развития мониторинговой системы и выбору наиболее информативных мест контроля уделено недостаточно внимания. Желательно провести

моделирование с целью разработки предложений по развитию мониторинговой сети для увеличения надежности прогноза безопасности ТКВ.

2. Результатом диссертационной работы является обоснование предложений по нормативному закреплению статуса ТКВ как объекта использования атомной энергии. Площадь территории объекта достигает 50 км². Возможно, стоит рассмотреть вопрос о включении в этот объект еще и пойменные территории р. Теча, которые составляют ~10 км² до границ Челябинской области, и решить проблему комплексно, выведя эти территории из хозяйственного оборота до вывода объекта из эксплуатации.

3. С редакционной точки зрения неудобно, когда конец страницы разбивает таблицу на две части, часть таблицы размещена на одной странице, а другая на следующей (см. Таблицы 1.1 -1.2). Отдельные рисунки плохо читаются.

Тем не менее, работа, безусловно, создает общее положительное впечатление, а указанные замечания не умаляют ее научную значимость и ценность.

По диссертационной работе в целом, следует отметить:

научная новизна диссертации, с моей точки зрения, состоит том, что разработана и обоснована методология обеспечения безопасности ТКВ, предложена и реализована в рамках специального расчетно-мониторингового комплекса (РМК) «ТКВ-Прогноз» модель и ее программная версия, учитывающая всю совокупность процессов и явлений, важных с точки зрения обеспечения безопасности ТКВ;

полученные диссертантом результаты имеют несомненную **практическую ценность** для создания системы оперативного управления и стратегического планирования безопасности Теченского каскада водоемов;

достоверность результатов диссертации Уткина С.С. не вызывает сомнений, поскольку, использованы стандартные современные методы расчета распространения радионуклидов в окружающей среде, прогнозирования и расчета радиационного воздействия на человека и объекты окружающей среды, обоснования радиационной и экологической безопасности. Результаты, полученные с использованием РМК «ТКВ-Прогноз», коррелируют с имеющимися результатами экспериментальных исследований. В частности, по удельной активности ⁹⁰Sr в воде водоемов В-10 и В-11, а также стоку ⁹⁰Sr по левобережному обводному каналу (ЛБК),

по теме диссертации опубликовано 33 научных труда, 17 из которых являются статьями в научных отечественных реферируемых журналах из перечня, рекомендованного ВАК, несколько монографий и докладов в трудах российских и международных конференций;

автореферат в полной мере соответствует основным идеям, положениям, содержанию и выводам диссертации, а результаты диссертации достаточно полно представлены в научных публикациях автора.

Оценивая работу в целом, считаю, что представленная Сергеем Сергеевичем Уткиным диссертация является законченным научным трудом и выполнена на высоком научном уровне. Содержание диссертации полностью соответствует специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации и отрасли науки «технические науки». Диссертация соответствует п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Сам автор, Уткин С.С. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
«14» сентября 2016 г.



Чесноков А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный
исследовательский центр «Курчатовский институт»
123182, г. Москва, пл. Курчатова, д.1
Тел. (499) 196-7100#6282
Email:avc@kiae.ru

Подпись Чеснокова А.В. заверяю.

Заместитель директора по научной работе - главный ученый секретарь НИЦ
«Курчатовский институт»

к.ф.-м.н.



Стремоухов С.Ю.

14.09.2016