

## СТАТЬИ

### О РЕГУЛИРОВАНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЖИДКИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ, НАКОПЛЕННЫМИ В ВОДОЕМАХ-ХРАНИЛИЩАХ ПО "МАЯК", СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА И ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Ю.Г. Вишневецкий, В.М. Ирюшкин, канд. техн. наук, А.И. Кислов (Госатомнадзор России),  
Б.Г. Гордон, д-р техн. наук, И.В. Калиберда, канд. техн. наук, О.М. Ковалевич, д-р техн. наук,  
А.Г. Лёвин, Н.С. Пронкин, д-р техн. наук, А.А. Сметник, д-р биол. наук,  
Р.Б. Шарафутдинов, канд. техн. наук (НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России)

#### Введение

Основные глобальные экологические проблемы второй половины XX - начала XXI века во многом определяются последствиями осуществления ядерных оборонных программ. Стремительная, беспрецедентно быстрая их реализация обусловила выбранные методы решения многочисленных научно-технических и производственных задач. С этим связано и то, что человечеству не удалось избежать серьезных радиационных аварий, изменивших его отношение к проблемам безопасности, защите окружающей среды и охране здоровья людей. Среди указанных проблем одна из важнейших - регулирование безопасности при обращении с радиоактивными отходами (РАО), накопленными в результате предыдущей деятельности [1].

В настоящее время на 22 предприятиях Минатома России имеются загрязненные радионуклидами территории общей площадью 480 км<sup>2</sup>, в том числе почва 376 км<sup>2</sup> и водоемы 104 км<sup>2</sup>. Основную потенциальную опасность из указанных загрязненных территорий представляют водоемы-хранилища жидких радиоактивных отходов (ЖРО), площадь которых на ПО "Маяк", Сибирском химическом комбинате (СХК) и Горно-химическом комбинате (ГХК) составляет ~91 км<sup>2</sup>, из них на ПО "Маяк" ~88 км<sup>2</sup> [2, 3, 4].

В статье приводятся основные результаты выполненного анализа опасностей, создаваемых водоемами-хранилищами ЖРО, и установленные на их основе главные задачи обеспечения и оценки безопасности при обращении с РАО, накопленными в водоемах-хранилищах ПО "Маяк", СХК и ГХК.

Объекты исследования:

- водоемы-хранилища ЖРО ПО "Маяк" - В-2, В-3, В-4, В-6, В-9, В-10, В-11, В-17;
- водоем-хранилище ЖРО СХК - ВХ-1; бассейны Б-1, Б-2; пульпохранилища ПХ-1, ПХ-2; бассейн-25; водохранилища ВХ-3, ВХ-4;
- водоемы-хранилища ЖРО ГХК - бассейны 365, 366, 354, 354а.

#### 1. Показатели потенциальной опасности водоемов-хранилищ ЖРО

В процессе разработки подходов к решению проблемы регулирования безопасности при обращении с РАО, накопленными в результате предыдущей деятельности, могут рассматриваться подходы, используемые в области управления рисками [5, 6]. В ходе работы проведен предварительный анализ опасностей, создаваемых водоемами-хранилищами ЖРО, включающий:

- анализ характеристик водоемов-хранилищ ЖРО;
- составление обобщенного перечня опасностей, создаваемых водоемами-хранилищами ЖРО;
- классификацию водоемов-хранилищ ЖРО по степени их потенциальной опасности;
- анализ соответствия водоемов-хранилищ ЖРО современным нормативным правовым документам, регламентирующим безопасность при обращении с РАО.

На основе анализа информации, опубликованной в открытой печати и имеющейся в Госатомнадзоре России, проведена предварительная классификация водоемов-хранилищ ЖРО по степени опасности на три группы - по уровню накопленной в них активности и радионуклидному составу ЖРО.

Водоемы-хранилища ЖРО ПО "Маяк" по накопленной в них суммарной активности, удельной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов в водной фазе и в донных отложениях могут быть условно разделены на три группы.

К первой группе следует отнести В-9 и В-17, суммарное содержание радионуклидов в которых ~120·10<sup>6</sup> Ки и ~2·10<sup>6</sup> Ки соответственно при средней удельной активности водной фазы ~0,4 Ки/дм<sup>3</sup> в В-9 и ~0,06 Ки/дм<sup>3</sup> в В-17. Удельная альфа-активность донных отложений в В-9 составляет ~(10<sup>-4</sup> - 10<sup>-5</sup>) Ки/дм<sup>3</sup>, а удельная бета-активность донных отложений ~1,7 Ки/дм<sup>3</sup>.

Ко второй группе следует отнести В-3, В-4 и В-10. Суммарное содержание радионуклидов в В-3 ~44 и в В-4 ~7,3 кКи. Удельная активность водной фазы В-3 и В-4 составляет ~(10<sup>-5</sup> - 10<sup>-6</sup>) Ки/дм<sup>3</sup>.

Несмотря на то, что удельная активность донных отложений в В-10 значительно ниже, чем в В-3 и В-4, В-10 из-за большого суммарного содержания в нем радионуклидов (~230 кКи) может быть отнесен ко второй группе.

К третьей группе могут быть отнесены водоемы-хранилища ЖРО В-2, В-6 и В-11 с суммарной активностью ~22, ~0,3 и ~26 кКи соответственно. Удельная активность их водной фазы составляет ~(10<sup>-7</sup> - 10<sup>-8</sup>) Ки/дм<sup>3</sup> [7, 8, 9].

Таким образом, водоемы-хранилища ЖРО ПО "Маяк" могут быть разделены на следующие три группы:

- первая группа: В-9, В-17;
- вторая группа: В-3, В-4, В-10;
- третья группа: В-2, В-6, В-11.

На СХК значительное количество низко- и среднеактивных ЖРО закачано в подземные водоносные горизонты. В поверхностных водоемах-хранилищах находятся ЖРО, содержащие альфа-излучающие радионуклиды, а также различные пульпы. Среднеактивные ЖРО, ранее направлявшиеся в водоемы В-1 и В-2, содержали большое количество альфа-излучателей. Суммарная активность накопленных в них радионуклидов более  $100 \cdot 10^6$  Ки. По величине суммарной активности, накопленной в водоемах-хранилищах ЖРО, по удельной активности водной фазы и донных отложений водоемы-хранилища ЖРО, расположенные на СХК, могут быть классифицированы следующим образом:

- первая группа: В-1, В-2;
- вторая группа: В-25, ВХ-3, ВХ-4, ПХ-1, ПХ-2;
- третья группа: ВХ-1.

На ГХК так же, как и на СХК, низко- и среднеактивные ЖРО в течение длительного времени закачиваются в подземные водоносные горизонты, поэтому создано только четыре поверхностных водоема-хранилища ЖРО. Суммарное содержание в них радионуклидов существенно ниже, чем в водоемах-хранилищах ЖРО ПО "Маяк" и СХК. По величине суммарной активности, накопленной в водоемах-хранилищах ЖРО, по удельной активности водной фазы и донных отложений водоемы-хранилища ЖРО, расположенные на ГХК, можно отнести ко второй группе.

Однако классификация по степени опасности водоемов-хранилищ ЖРО, основанная только на количественных показателях накопленной в них радиактивности, является односторонней и не учитывает всех других факторов опасности, создаваемых рассматриваемыми объектами.

Анализ характеристик водоемов-хранилищ ЖРО позволил выделить ряд основных, свойственных в той или иной мере всем рассматриваемым водоемам-хранилищам ЖРО факторов, определяющих их потенциальную опасность, (обобщенный перечень опасностей).

1. Значительное содержание радионуклидов.
2. Наличие долгоживущих радионуклидов.
3. Вынос радиоактивных аэрозолей, образующихся над водным зеркалом водоемов-хранилищ ЖРО, в атмосферу.
4. Ветровой унос радионуклидов с береговой полосы водоемов-хранилищ ЖРО.
5. Отсутствие в большинстве случаев системы барьеров на пути возможного распространения радионуклидов с подземными водами.
6. Более 95% всех радионуклидов, накопленных в водоемах-хранилищах ЖРО, сконцентрировано в донных отложениях. Наличие урана и плутония в донных отложениях водоемов может служить причиной возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления (СЦР).
7. Практически все водоемы-хранилища ЖРО имеют гидротехнические сооружения (плотины, обваловки, обводные каналы, станции перекачки воды и т.п.), повреждение или разрушение которых является одним из факторов опасности.

Например, к наиболее опасным исходным событиям на водоемах-хранилищах ЖРО ПО "Маяк" с точки зрения возможного радиационного воздействия относятся:

- вынос активности с акватории В-9 в результате смерча;
- осушение берегов В-9 и ветровой унос радионуклидов;
- фильтрация загрязненной радионуклидами воды из В-9 и распространение радионуклидов с подземными водами;
- разрушение плотины 11 и вынос потоков радиоактивной воды за пределы Теченского каскада водоемов (ТКВ);
- процессы, приводящие к локальному увеличению концентрации делящихся радионуклидов до опасных значений (возникновение СЦР).

Для количественной оценки опасностей, создаваемых водоемами-хранилищами ЖРО, использовался один из методов системного анализа - метод многокритериальных экспертных оценок по методике, изложенной в [10].

Экспертам предложены следующие критерии оценки степени опасности водоемов-хранилищ ЖРО.

1. Величина суммарной активности в водоеме-хранилище ЖРО.
2. Величина удельной активности водной фазы водоема-хранилища ЖРО.
3. Величина удельной альфа-активности водной фазы и донных отложений.
4. Загрязнение окружающей среды вследствие метеорологических и гидрологических условий.
5. Загрязнение подземных вод с радиационными последствиями в настоящее время и в будущем.
6. Влияние состояния гидротехнических сооружений на безопасность населения и окружающей среды.
7. Возможность возникновения СЦР с радиационными последствиями.

В проведении многокритериальных оценок участвовали эксперты из различных организаций Минатома России, Миннауки России и Госатомнадзора России. Полученные от экспертов анкеты обезличены, и им присвоены условные номера. Нормированные коэффициенты компетентности экспертов

определены группой других экспертов. В результате экспертных оценок для каждого водоема-хранилища ЖРО рассчитан индекс опасности (ИО). Обработка и анализ полученных результатов экспертных оценок показали следующее.

1. Водоем В-9 (ПО "Маяк") получил наибольший индекс опасности (ИО = 16,8). Следующим по уровню потенциальной опасности является Б-1 (СХК) (ИО = 12,3). Водоем Б-2 (СХК) в настоящее время засыпан грунтом, однако из-за количества радионуклидов, содержащихся в донных отложениях, его ИО = 9,6.

2. Водоем В-17 (ПО "Маяк") получил ИО = 7,8 из-за накопленной в нем суммарной активности и практиковавшихся ранее сбросов ЖРО, содержащих альфа-активные радионуклиды. Кроме того, существует вероятность разрушения плотины водоема. Водоем Б-25 (СХК) содержит долгоживущие радионуклиды, поэтому его ИО = 4,83.

3. ТКВ (ПО "Маяк") В-3 (ИО = 3,5), В-4 (ИО = 3,0) и особенно В-10 (ИО = 5,2) и В-11 (ИО = 5,8), по мнению экспертов, требуют самого пристального внимания к состоянию их безопасности.

4. Водоемы ВХ-3, ВХ-4, ПХ-1 и ПХ-2 (СХК), 365 и 366 (ГХК) получили достаточно близкие ИО: 3,74; 3,15; 3,6; 3,5; 2,5 и 2,6 соответственно.

5. Водоемы оборотного водоснабжения В-6 (ПО "Маяк") и ВХ-1 (СХК) получили низкие ИО: 1,4 и 1,1 соответственно.

Результаты экспертной оценки позволили классифицировать водоемы-хранилища ЖРО по уровню потенциальной опасности (см. таблицу).

Следует отметить, что ТКВ отнесен к первой группе потенциально опасных объектов, поскольку суммарный индекс опасности этих водоемов составляет 17,5.

#### Классификация водоемов-хранилищ ЖРО по уровню потенциальной опасности

Предприятие ядерного топливного цикла	Водоем-хранилище ЖРО, его происхождение	Период жизненного цикла водоема-хранилища ЖРО	Группа в соответствии с индексом опасности		
			1	2	3
ПО "Маяк"	В-2 (естественное)	Эксплуатация	-	-	2,3
То же	В-3 (искусственное)	То же	-	3,5	-
« «	В-4 (искусственное)	« «	-	3,0	-
« «	В-6 (естественное)	« «	-	-	1,4
« «	В-9 (естественное)	« «	16,8	-	-
« «	В-10 (искусственное)	« «	-	5,2	-
« «	В-11 (искусственное)	« «	-	-	5,8
« «	В-17 (искусственное)	« «	7,8	-	-
СХК	ВХ-1 (искусственное)	Эксплуатация	-	-	1,1
То же	Б-1 (искусственное)	Вывод из эксплуатации	12,3	-	-
« «	Б-2 (искусственное)	« «	9,6	-	-
« «	ПХ-1 (искусственное)	Эксплуатация	-	3,6	-
« «	ПХ-2 (искусственное)	То же	-	3,5	-
« «	Б-25 (искусственное)	« «	-	4,83	-
« «	ВХ-3 (искусственное)	« «	-	3,74	-
« «	ВХ-4 (искусственное)	« «	-	3,15	-
ГХК	365 (искусственное)	Эксплуатация	-	2,5	-
То же	366 (искусственное)	То же	-	2,6	-
« «	354 (искусственное)	Вывод из эксплуатации	-	3,4	-
« «	354а (искусственное)	Эксплуатация	-	4,13	-

#### 2. Деятельность эксплуатирующих организаций по обеспечению безопасности водоемов-хранилищ ЖРО и оценка соответствия безопасности водоемов-хранилищ ЖРО современным нормативным правовым документам, регламентирующим безопасность при обращении с РАО

Эксплуатирующие организации проводят ряд мероприятий, направленных на обеспечение безопасности водоемов-хранилищ ЖРО. Анализ позволил выделить следующие основные направления деятельности, осуществляемой ПО "Маяк", СХК и ГХК:

- поддержание гидротехнических сооружений в соответствии с требованиями технической документации;
- поддержание уровня воды в водоемах-хранилищах ЖРО;
- проведение подготовительных работ по консервации водоемов-хранилищ ЖРО;
- проведение мониторинга окружающей среды в районах влияния водоемов-хранилищ ЖРО;
- проведение научных исследований.

Например, на СХК и ГХК принято решение о консервации водоемов-хранилищ ЖРО. Эксплуатация некоторых из них уже приостановлена. На СХК водоемы-хранилища ЖРО Б-1 и Б-2

выведены из технологического цикла, причем Б-2 засыпан грунтом. Засыпается грунтом водоем 354 на ГХК. На ПО "Маяк" около 70% акватории В-9 закрыто железобетонными блоками и грунтом, однако сбросы ЖРО в В-9 продолжаются.

В целом необходимо отметить, что эксплуатирующие организации не выполняют требуемый современным законодательством Российской Федерации и международными правовыми документами объем работ, направленных на повышение безопасности водоемов-хранилищ ЖРО. Не проводится тщательный анализ источников формирования сбросов, отсутствуют детальные программы прекращения сбросов ЖРО в водоемы-хранилища. Так, на ПО "Маяк" ежегодный объем сбросов жидких отходов только в водоемы В-3 и В-4 ТКВ составляет  $(3 - 5) \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> с суммарной активностью 2 - 4 кКи/год [9]. Отсутствуют проекты вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО.

Не уделяется должное внимание разработке технологий переработки низко- и среднеактивных ЖРО. Не в полной мере реализованы все необходимые меры по мониторингу фильтрационных утечек через чаши водоемов-хранилищ ЖРО и миграции радионуклидов в окружающей среде.

Проводимые работы по консервации водоемов В-9 (ПО "Маяк"), Б-2 (СХК) и 354 (ГХК) практически сводятся к созданию на площадках этих водоемов-хранилищ ЖРО приповерхностных хранилищ РАО, содержащих долгоживущие радионуклиды. Решение проблем долговременной безопасности водоемов-хранилищ ЖРО эксплуатирующими организациями отложено.

В настоящее время водоемы-хранилища ЖРО эксплуатируются и консервируются в основном в соответствии с отраслевыми документами, определяющими требования к балансу воды, колебаниям уровня водной поверхности, допустимым сбросам, предотвращению ветрового уноса радионуклидов с береговой линии водоемов, способам консервации водоемов, организации и проведению наблюдений за объектами окружающей среды в период консервации и после ее завершения и т.д. [11, 12].

Указанные ведомственные документы создавались на основе законодательства СССР и, как правило, не отражают подходов к обеспечению безопасности при решении проблем реабилитации территорий в свете современных требований, установленных законодательством Российской Федерации, международными правовыми документами и рекомендациями международных организаций.

Водоемы-хранилища ЖРО эксплуатируются с нарушением ряда положений нормативных правовых документов, в частности:

не обеспечена надежная изоляция РАО от окружающей среды (Федеральный закон "Об использовании атомной энергии", ст. 48);

не обеспечена защита настоящего и будущих поколений, биологических ресурсов от радиационного воздействия РАО сверх установленных нормами и правилами в области использования атомной энергии пределов (Федеральный закон "Об использовании атомной энергии", ст. 48);

нарушается запрет на сброс радиоактивных веществ в водные объекты и захоронение их в водных объектах (Водный кодекс Российской Федерации, ст. 104);

не безопасны для окружающей среды условия и способы сбора, хранения и захоронения РАО (Федеральный закон "Об охране окружающей среды", ст. 51, часть 1);

нарушается запрет на сброс РАО в поверхностные и подземные водные объекты, на водосборные площади, в недра и на почву (Федеральный закон "Об охране окружающей среды", ст. 51, часть 2);

не обеспечивается поддержание образования РАО на минимальном практически достижимом уровне (Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, ст.11, п. ii);

возлагается чрезмерное бремя на будущие поколения (Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, ст.11, п. vii);

не удерживается на минимальном практически осуществимом уровне образование РАО (Принципы обращения с радиоактивными отходами, МАГАТЭ, серия № 111–F, принцип 7);

не надлежащим образом учитываются взаимозависимости между всеми стадиями образования РАО и обращения с ними (Принципы обращения с радиоактивными отходами, МАГАТЭ, серия № 111–F, принцип 8).

### 3. Основная цель и задачи обеспечения безопасности водоемов-хранилищ ЖРО

Анализ зарубежной и отечественной научно-технической литературы, нормативных правовых документов, нормативной и эксплуатационной документации, связанной как с общими вопросами регулирования безопасности при реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами, так и с вопросами эксплуатации и вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО, позволил определить основные задачи обеспечения безопасности в рассматриваемой области.

В соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации, положениями международных правовых документов и рекомендациями международных организаций целью обеспечения безопасности водоемов-хранилищ ЖРО должна быть реабилитация территорий, занятых водоемами-хранилищами ЖРО и подверженных их влиянию [13].

Для достижения указанной цели необходимо применение программно-целевых методов и наличие значительных научных, технических и финансовых ресурсов. Примером подхода к решению этих проблем может служить осуществляемая Министерством энергетики США деятельность по реабилитации загрязненных территорий [14].

В условиях, когда нет возможности одновременно прекратить эксплуатацию водоемов-хранилищ ЖРО и ликвидировать их, должны быть найдены решения, направленные на реализацию следующих основных задач.

1. Предотвращение аварий и защита работников (персонала), населения и окружающей среды от последствий возможных аварий. Реализуемые мероприятия должны быть основаны на анализе опасностей (рисков), обусловленных водоемами-хранилищами ЖРО, и оптимизационных исследованиях (оценке влияния альтернативных вариантов на безопасность и окружающую среду), направленных на снижение риска.

2. Прекращение сбросов в водоемы-хранилища ЖРО. Должен быть проведен тщательный анализ источников формирования сбросов, разработаны детализированные программы снижения количества сбросов, вплоть до их прекращения.

Реабилитация территорий, занятых водоемами-хранилищами ЖРО и подверженных их влиянию, включает в себя решение двух взаимосвязанных задач:

- проведение краткосрочных и среднесрочных мероприятий по восстановлению окружающей среды, направленных на снижение или, если возможно, устранение наиболее существенных опасностей (рисков), например, связанных с ветровым уносом и миграцией радионуклидов в почве и подземных водах;
- проведение долгосрочных мероприятий по решению проблем обращения с накопленными РАО, а также с РАО, образующимися при реабилитации территорий.

Работы по обращению с РАО и реабилитации территорий должны планироваться таким образом, чтобы совместить снижение краткосрочных рисков с минимизацией долгосрочных рисков.

Проблемы обеспечения текущего уровня безопасности и долговременной безопасности водоемов-хранилищ ЖРО относятся к наукоемким проблемам. Существует целый ряд нерешенных научных проблем, связанных с обеспечением безопасности водоемов-хранилищ ЖРО. Ниже в качестве примера приведены лишь некоторые из них.

1. Детальные исследования качественного и количественного радионуклидного состава ЖРО в водоемах-хранилищах, а также морфологических, гидрологических и биологических характеристик водоемов-хранилищ ЖРО. Проведенный анализ показал, что эксплуатирующие организации не располагают необходимой полной информацией о водоемах-хранилищах ЖРО. Даже данные об общей активности, накопленной в водоемах-хранилищах ЖРО, удельных активностях отдельных радионуклидов, радионуклидном составе водной фазы и донных отложений в достаточной степени не изучены, поскольку в различных источниках информации приводятся противоречивые сведения.

2. Исследование поведения радионуклидов в водоемах-хранилищах ЖРО, включая исследование механизма радиационно-химических реакций макрокомпонентов РАО в жидкой фазе и донных отложениях.

3. Исследование путей миграции радионуклидов из водоемов-хранилищ ЖРО в окружающую среду.

4. Исследование процессов выноса радиоактивных аэрозолей, образующихся над водным зеркалом водоемов-хранилищ ЖРО, в приземной слой атмосферы и ветрового уноса радионуклидов с береговой полосы водоемов-хранилищ ЖРО.

5. Исследование эффективности физических барьеров, обеспечивающих необходимую безопасность захоронения РАО, на месте бывшего водоема-хранилища ЖРО в течение длительного времени.

6. Прогноз долговременного поведения искусственных и естественных природных барьеров, а также возможных радиационных последствий при нормальной эволюции закрытого водоема-хранилища ЖРО и при неблагоприятных сценариях.

К научно-техническим проблемам также следует отнести следующие требующие выполнения работы.

1. Разработка методов и установок для переработки и кондиционирования накопленных в водоемах-хранилищах ЖРО.

2. Разработка методов переработки донных отложений и водной фазы.

3. Разработка методов и технологий вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО.

4. Определение методов и объема радиационного контроля на всех этапах вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО и после их вывода из эксплуатации.

#### **4. Обоснование безопасности водоемов-хранилищ ЖРО**

Основным документом, обосновывающим обеспечение безопасности при эксплуатации или выводе из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО, является отчет по обоснованию безопасности (ООБ). ООБ представляется в Госатомнадзор России в комплекте документов на получение лицензий Госатомнадзора России на виды деятельности в области использования атомной энергии. Он должен содержать достаточно полную информацию для адекватного понимания проекта водоема-хранилища ЖРО и основных принципов обеспечения безопасности при его эксплуатации или выводе из эксплуатации.

Примерное содержание ООБ, отражающее специфику обоснования безопасности водоемов-хранилищ ЖРО, приведено ниже.

1. Характеристика текущего состояния водоемов-хранилищ (морфология, гидрология, инженерная геология, климат, биология, другая необходимая информация).
2. Система водопользования, описание технологического процесса.
3. Качественный и количественный радионуклидные составы водной фазы и донных отложений в водоемах-хранилищах.
4. Поведение радионуклидов в водоемах-хранилищах и анализ факторов, влияющих на изменение концентрации радионуклидов в воде и донных отложениях. Физико-химические процессы, происходящие в воде и донных отложениях, оценка возможности возникновения экзотермической реакции в донных отложениях.
5. Анализ состояния барьеров, предотвращающих миграцию радиоактивных веществ в окружающую среду, мониторинг состояния барьеров.
6. Организация мониторинга состояния водоемов-хранилищ.
  - 6.1. Контроль загрязнения атмосферы в районе водоемов.
  - 6.2. Контроль загрязнения воды.
  - 6.3. Контроль загрязнения подземных вод.
  - 6.4. Контроль за состоянием гидротехнических сооружений.
  - 6.5. Контроль загрязнения донных отложений.
7. Анализ распространения радионуклидов из водоемов-хранилищ в окружающую среду.
  - 7.1. Оценка ветрового уноса радионуклидов из водоемов-хранилищ:
    - поступление радионуклидов в атмосферу;
    - загрязнение приземного слоя воздуха радионуклидами в районе площадки водоема-хранилища;
    - выпадение радионуклидов на площадке водоема-хранилища;
    - зоны влияния ветрового переноса радиоактивных аэрозолей из водоема-хранилища;
    - мероприятия, направленные на снижение ветрового уноса радиоактивных аэрозолей из водоемов-хранилищ.
  - 7.2. Оценка распространения радионуклидов с подземными водами; мероприятия, направленные на снижение распространения радионуклидов с подземными водами.
8. Обоснование радиационной безопасности работников (персонала) и населения в зоне влияния водоема-хранилища.
  - 8.1. Оценка доз работников (персонала).
  - 8.2. Оценка эффективных доз населения в зоне влияния водоема-хранилища.
9. Анализ безопасности.
  - 9.1. Перечень исходных событий проектных аварий.
  - 9.2. Перечень запроектных аварий.
  - 9.3. Результаты детерминистского и вероятностного анализов безопасности.
10. Обоснование устойчивости гидротехнических сооружений.
11. Обоснование ядерной безопасности.
12. Вывод из эксплуатации водоема-хранилища.
  - 12.1. Концепция вывода из эксплуатации.
  - 12.2. Программа вывода из эксплуатации.
  - 12.3. Результаты комплексного обследования.
  - 12.4. Проектные решения.
  - 12.5. Анализ безопасности.
  - 12.6. Радиационный контроль при выводе из эксплуатации.
  - 12.7. Информационное обеспечение вывода из эксплуатации.
13. Анализ долговременной безопасности водоема-хранилища ЖРО после вывода его из эксплуатации.

ООБ должен основываться на информации, подтвержденной экспериментальными исследованиями и расчетами.

### **5. Специальные требования, включаемые в условия действия лицензий на виды деятельности**

Специальные требования, включаемые в условия действия лицензий на виды деятельности, связанные с эксплуатацией и выводом из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО, являются одними из основных регулирующих воздействий. Результирующий вектор специальных требований в условия действия лицензий будет направлен на вывод из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО и реабилитацию загрязненных территорий.

При формировании специальных требований возможен используемый зарубежными органами регулирования безопасности подход - установление контрольных этапов (check points). Если проводимые эксплуатирующей организацией мероприятия по обеспечению безопасности в целом одобряются органом регулирования безопасности при лицензировании видов деятельности, то он устанавливает ряд контрольных этапов, важных с его точки зрения, и контролирует их выполнение.

В дальнейшем представляется целесообразным осуществлять лицензирование видов деятельности на каждом водоеме-хранилище ЖРО или группе функционально связанных водоемов-хранилищ ЖРО, а не в составе ядерных установок, как это практиковалось ранее.

Водоемы-хранилища ЖРО предлагается разделить на следующие группы:

- ПО "Маяк": В-9; В-17; группа - В-3, В-4, В-10, В-11 (ТКВ); В-2; В-6.
- На СХК: Б-1; Б-2; Б-25; группа - ПХ-1, ПХ-2; группа - ВХ-3, ВХ-4; ВХ-1.
- На ГХК: 354; группа – 365, 354а; 366.

В приложении приведен предварительный ориентировочный перечень специальных требований в условия действия лицензий на виды деятельности, осуществляемые на водоемах-хранилищах ЖРО.

### **Заключение**

Проведена комплексная оценка текущего уровня безопасности водоемов-хранилищ ЖРО ПО "Маяк", СХК и ГХК.

Определены группы наиболее опасных водоемов-хранилищ ЖРО. Разработана классификация водоемов-хранилищ ЖРО по их потенциальной опасности. На основе многокритериальных оценок уровня опасности водоемов-хранилищ ЖРО разработаны обобщенные количественные показатели водоемов-хранилищ ЖРО, позволяющие проводить их сравнительную оценку по индексу опасности.

Рассмотрены основные задачи обеспечения безопасности водоемов-хранилищ ЖРО, решение которых необходимо для обеспечения и обоснования безопасности водоемов-хранилищ ЖРО.

Сформулирован предварительный ориентировочный перечень специальных требований в условия действия лицензий на виды деятельности на водоемах-хранилищах ЖРО.

### **Приложение**

#### **Предварительный ориентировочный перечень специальных требований в условия действия лицензий на виды деятельности на водоемах-хранилищах ЖРО**

##### **1. Водоемы-хранилища ЖРО ПО "Маяк"**

##### **1.1. ПО "Маяк", водоем-хранилище ЖРО В-9 (озеро "Карачай").**

Индекс опасности 16,8.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО В-9.

Специальные требования в условия действия лицензии

Концепция вывода из эксплуатации водоема В-9.

Программа прекращения сброса в водоем-хранилище.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища, включающий обоснование долговременной безопасности хранилища РАО на месте В-9.

##### **1.2. ПО "Маяк", водоем-хранилище ЖРО В-17 (Старое болото).**

Индекс опасности 7,8.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО В-17.

Специальные требования в условия действия лицензии

Концепция вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Программа прекращения сброса регенератов и тритиевого конденсата в водоем-хранилище.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Обоснование устойчивости гидротехнических сооружений (плотина П-17); анализ безопасности, оценка последствий разрушения П-17.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища, включающий обоснование долговременной безопасности хранилища РАО на месте В-17.

##### **1.3. ПО "Маяк", ТКВ (В-3, В-4, В-10, В-11).**

Индексы опасности: 3,5 (В-3), 3,0 (В-4), 5,2 (В-10), 5,8 (В-11).

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации ТКВ, включающих В-3, В-4, В-10 и В-11 и предназначенных для хранения ЖРО низкого уровня активности.

Специальные требования в условия действия лицензии

Концепция вывода из эксплуатации ТКВ.

Программа вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ.

Программа создания установок переработки ЖРО с целью прекращения их сброса в ТКВ.

Программа прекращения сброса регенератов.

Программа прекращения сбросов в В-3 и В-4.

Ежеквартальное представление информации о выполнении мероприятий по прекращению сбросов.

Мероприятия по поддержанию проектного уровня в каждом из водоемов ТКВ.

Ежеквартальное представление информации о динамике изменения уровня воды во всех водоемах-хранилищах ТКВ.

Комплексное обследование водоемов-хранилищ.  
Обоснование долговременной безопасности хранилища ЖРО ТКВ.  
Мероприятия по укреплению плотин ТКВ.  
Перечень мероприятий по снижению миграции радионуклидов из В-11 с подземными водами.  
Обоснование устойчивости гидротехнических сооружений В-3 и В-4 (плотины, в том числе плотины П-3, П-3а и П-4, обводные каналы, дамбы, система слива раствора).  
Мероприятия по очистке от золоотвалов правобережного обводного канала.  
Проект вывода из эксплуатации ТКВ.  
Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации ТКВ.

1.4. ПО "Маяк", водоем-хранилище ЖРО В-2.

Индекс опасности 2,3.

*Вид деятельности:* эксплуатация водоема-хранилища ЖРО В-2.

Специальные требования в условия действия лицензии

Отчет по обоснованию безопасности при эксплуатации водоема-хранилища.

Обоснование устойчивости гидротехнических сооружений (плотины на стоке воды из В-2).

Мероприятия по технологии эффективной очистки оборотных вод, сбрасываемых в В-2.

Программа работ по исключению В-2 из технологического цикла и выводу его из эксплуатации.

1.5. ПО "Маяк", водоем-хранилище ЖРО В-6.

Индекс опасности 1,4.

*Вид деятельности:* эксплуатация водоема-хранилища ЖРО В-6.

Специальные требования в условия действия лицензии

Обоснование устойчивости гидротехнических сооружений (дамба-плотина, система сброса раствора, насосная станция перекачки раствора и т.д.).

Программа работ по исключению В-6 из технологического цикла и выводу его из эксплуатации.

2. Водоемы-хранилища СХК

2.1. СХК, водоем-хранилище ЖРО Б-1.

Индекс опасности 12,3.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО Б-1.

Специальные требования в условия действия лицензии

Анализ результатов вывода из эксплуатации.

Программа прекращения сброса в водоем-хранилище.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища, включающий обоснование долговременной безопасности хранилища РАО на месте Б-1.

2.2. СХК, водоем-хранилище ЖРО Б-2.

Индекс опасности 9,6.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО Б-2.

Специальные требования в условия действия лицензии

Программа завершения консервации Б-2 с анализом результатов вывода его из эксплуатации.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища, включающий обоснование долговременной безопасности хранилища РАО на месте Б-2.

2.3. СХК, водоемы-хранилища ЖРО ПХ-1 и ПХ-2 (пульпохранилища).

Индексы опасности : 3,6 (ПХ-1) и 3,5 (ПХ-2).

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоемов-хранилищ (пульпохранилищ) ЖРО ПХ-1 и ПХ-2.

Специальные требования в условия действия лицензии

Программа прекращения сброса в водоемы-хранилища.

Программа вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ.

Комплексное обследование водоемов-хранилищ.

Проект вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоемов-хранилищ, включающий обоснование долговременной безопасности хранилищ РАО на месте ПХ-1 и ПХ-2.

Мероприятия по сохранению целостности противофильтрационных экранов ПХ-1, ПХ-2.

Представление информации о состоянии противофильтрационных экранов ПХ-1, ПХ-2.

2.4. СХК, водоем-хранилище ЖРО Б-25.

Индекс опасности 4,83.



*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО Б-25.

Специальные требования в условия действия лицензии

Программа прекращения сброса в водоем-хранилище.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища, включающий обоснование долговременной безопасности хранилища РАО на месте Б-25.

2.5. СХК, водоемы-хранилища ЖРО ВХ-3 и ВХ-4.

Индексы опасности: 3,74 (ВХ-3) и 3,15 (ВХ-4).

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоемов-хранилищ ЖРО ВХ-3 и ВХ-4.

Специальные требования в условия действия лицензии

Программа прекращения сброса в водоемы-хранилища.

Представление информации о динамике снижения сброса ЖРО в ВХ-3 и ВХ-4.

Программа вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ.

Комплексное обследование водоемов-хранилищ.

Проект вывода из эксплуатации водоемов-хранилищ.

Обоснование устойчивости гидротехнических сооружений (плотин); оценка возможных последствий в случае разрушения плотин или при превышении водными поверхностями предельных отметок.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоемов-хранилищ.

2.6. СХК, водоем-хранилище ЖРО ВХ-1.

Индекс опасности 1,1.

*Вид деятельности:* эксплуатация водоема-хранилища ЖРО ВХ-1.

Специальные требования в условия действия лицензии

Представление информации об изменениях уровня воды в ВХ-1.

Программа исключения ВХ-1 из технологического процесса и вывода его из эксплуатации.

3. Водоемы-хранилища ЖРО ГХК

3.1. ГХК, водоем-хранилище ЖРО 354.

Индекс опасности 3,4.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО 354.

Специальные требования в условия действия лицензии

Комплексное обследование водоема-хранилища 354, включающее анализ результатов работ по его консервации.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища.

3.2. ГХК, водоем-хранилище ЖРО 365.

Индекс опасности 2,5.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО 365.

Специальные требования в условия действия лицензии

Ежеквартальное представление информации об изменении уровня воды в водоеме-хранилище 365, еженедельное - в период весеннего паводка.

Программа исключения водоема-хранилища 365 из технологического процесса.

Программа прекращения сброса в водоем-хранилище.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища.

3.3. ГХК, водоем-хранилище 366 ЖРО.

Индекс опасности 2,6.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО 366.

Специальные требования в условия действия лицензии

Ежеквартальное представление информации об изменении уровня воды в водоеме-хранилище 366, еженедельное - в период весеннего паводка.

Программа исключения водоема-хранилища 366 из технологического процесса.

Программа прекращения сброса в водоем-хранилище.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища.

3.4. ГХК, водоем-хранилище ЖРО 354а.

Индекс опасности 4,13.

*Вид деятельности:* вывод из эксплуатации водоема-хранилища ЖРО 354а.

Специальные требования в условия действия лицензии

Анализ результатов работ по консервации водоема-хранилища 354а.

Программа исключения водоема-хранилища 354а из технологического процесса.

Программа прекращения сброса в водоем-хранилище.

Программа вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Комплексное обследование водоема-хранилища.

Проект вывода из эксплуатации водоема-хранилища.

Отчет по обоснованию безопасности при выводе из эксплуатации водоема-хранилища.

### Литература

1. *Шарафутдинов Р.Б.* Системный подход к нормативному регулированию безопасности при обращении с радиоактивными отходами // Вестник Госатомнадзора России, 2002. – № 1 (20). – С. 19-32.

2. *Шаталов В.В.* Состояние окружающей среды на объектах отрасли. (ГУП ВНИИХТ), Экология ядерной отрасли. Вторая научно-техническая экологическая конференция. (Сб. докладов), М., Минатом России, 6 июня 2001 г., с. 4.

3. *Алексахин Р.М.* Об основах экологической политики Министерства Российской Федерации по атомной энергии, Экология ядерной отрасли. Вторая научно-техническая экологическая конференция. (Сб. докладов), М., Минатом России, 6 июня 2001 г., с.10.

4. *Дрожко Е.Г., Мокров Ю.Г., Кондаков В.М., Ревенко Ю.А.* Реабилитация территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, Экология ядерной отрасли. Вторая научно-техническая экологическая конференция. (Сб. докладов), М., Минатом России, 6 июня 2001 г., с.79.

5. Working material of Technical Committee meeting on "Risk Informed decision Making", IAEA, Vienna –2001.

6. *Бурков В.Н., Грацианский Е.В., Дзюбко С.И., Щепкин А.В.* Модели и механизмы управления безопасностью, М., СИНТЕГ, 2001. - 153 с.

7. *Глаголенко Ю.В., Дзекун Е.Г., Медведев Г.М.* и др. Переработка отработавшего ядерного топлива АЭС и жидких радиоактивных отходов на ПО "Маяк" // Атомная энергия. – 1997. – Т. 83. – № 6. – С. 446–452.

8. Source contributing to radioactive contamination of the Techa River and areas surrounding the "Mayak" production association, Urals, Russia. Programme of investigations of possible impacts of the "Mayak" PA activities on radioactive contamination of the Barents and Kara Seas. Joint Norwegian-Russian Expert Group for Investigation of Radioactive Contamination in the Northern Areas, ISBN 82-993079-6-1, Norway, 1997. –134 p.

9. *Садовников В.И., Глаголенко Ю.В., Дрожко Е.Г., Мокров Ю.Г., Стукалов П.М.* Современное состояние и пути решения проблем Теченского каскада водоемов. // Вопросы радиационной безопасности. –2001. -№ 1. - С. 1-11.

10. *Холод Н.И., Кузнецов А.В., Жихар Я.Н.* и др. Экономико-математические методы и модели, 2-е изд. – Минск, БГЭУ, 2000. – 412 с.

11. Временные санитарные правила консервации поверхностных хранилищ жидких радиоактивных отходов СХК, ВСП КХРО-96.

12. Санитарно-гигиенические требования и мероприятия по обеспечению безопасного режима эксплуатации и регулирования промышленных водоемов на ПО "Маяк" (СГТ ЭПВ-М), М., 1997.

13. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Cleanup of areas contaminated by past activities and accidents. Safety Series No. № WS-R-X (DS162) (in preparation), IAEA, Vienna, 2002.

14. UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, The Baseline Environmental Management Report. Volume 1, 2 US DOE, 1996.