

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЛЕНИНГРАДСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ ФИЛИАЛА «СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЙ ОКРУГ» ФГУП «РОСРАО»

И.И. Крышев*, А.Ю. Пахомов**, С.Н. Брыкин***, В.Г. Булгаков*,
Т.Г. Сазыкина*, И.А. Пахомова**, И.С. Серебряков***,
Н.С. Рознова***, А.И. Крышев*, И.Я. Газиев*, К.В. Лунева*,
М.А. Дмитриева*

* – ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета МПР, г. Обнинск

** – Фонд экологической безопасности энергетики, г. Москва

*** – ФГУП «РосРАО» ГК «Росатом», г. Москва



Выполнен анализ радиоэкологической ситуации в районе расположения хранилищ радиоактивных отходов Ленинградского отделения филиала «Северо-Западный территориальный округ» ФГУП «РосРАО». Показано, что дозы планируемого облучения от штатных выбросов предприятия составляют в среднем $1,1 \cdot 10^{-4}$ мЗв/г., что на два порядка меньше уровня пренебрежимого радиационного риска. Дозы существующего облучения значительно ниже допустимых пределов дозы и не превышают 1–2% от природного фона. При гипотетическом сценарии радиационной аварии отсутствуют территории в районе расположения предприятия, на которых меры защиты населения необходимо применять в обязательном порядке. За пределами промплощадки предприятия дозы облучения биоты не превышают фоновых значений.

Ключевые слова: радионуклиды, доза, радиоактивные отходы, хранилище, выбросы, биота.

Key words: radionuclides, dose, radioactive wastes, storage, releases, biota.

ВВЕДЕНИЕ

В статье приведен анализ радиационного воздействия предприятия по обращению с радиоактивными отходами Ленинградского отделения филиала «Северо-западный территориальный округ» «РосРАО» (далее употребляется прежнее название «Ленинградский спецкомбинат «Радон» – ЛСК) на население и биоту. Ак-

© *И.И. Крышев, А.Ю. Пахомов, С.Н. Брыкин, В.Г. Булгаков, Т.Г. Сазыкина, И.А. Пахомова, И.С. Серебряков, Н.С. Рознова, А.И. Крышев, И.Я. Газиев, К.В. Лунева, М.А. Дмитриева, 2012*

туальность и практическая значимость рассматриваемых вопросов связана с необходимостью количественной оценки текущих и прогнозируемых уровней радиоэкологического влияния хранилищ радиоактивных отходов в условиях дальнейшего развития ядерной энергетики в Российской Федерации.

Ленинградский спецкомбинат является специализированным предприятием, обеспечивающим сбор, транспортировку, переработку, кондиционирование и долговременное хранение РАО. Предприятие расположено в 5 км от г. Сосновый Бор рядом с Ленинградской АЭС, примерно в 1 км от берега Финского залива.

Первая очередь предприятия (в том числе хранилища твердых и жидких РАО) была введена в эксплуатацию в 1962 г. С тех пор введено в эксплуатацию более 15-ти хранилищ различного назначения, большая часть из них полностью загружена и законсервирована. Общий объем РАО, принятых на долговременное хранение, превышает 60 тыс. м³. Суммарная активность РАО, хранящихся на предприятии, составляет около $2 \cdot 10^{16}$ Бк [1]. К настоящему времени хранилища твердых РАО практически полностью заполнены. На предприятии также накоплено более 1300 м³ концентратов жидких РАО. Общая площадь полигона хранения РАО 45 га.

РАДИОАКТИВНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ЛСК

Основными источниками (фактическими и потенциальными) радиационного воздействия ЛСК являются

- поступление радионуклидов от временных хранилищ твердых РАО в грунтовые воды при нарушении условий хранения отходов;
- выбросы радиоактивных веществ в атмосферу в результате технологической деятельности по переработке РАО;
- смыв радиоактивных выпадений с промплощадки в открытую гидрографическую сеть.

В грунтовых водах промплощадки предприятия наблюдаются такие техногенные радионуклиды, как ³H, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs, ¹²⁵Sb, ⁶⁰Co и др. [1, 4]. Вследствие более высокой сорбции радиоцезия грунтом его максимальные концентрации практически локализованы в непосредственной близости от хранилищ, тогда как скорость миграции радиостронция в песчаной породе водонасыщенного слоя приближена к скорости миграции воды. С удалением от хранилищ твердых отходов удельные активности техногенных радионуклидов в грунтовых водах резко снижаются, таким образом их загрязнение практически локализовано в пределах промплощадки.

В прибрежной зоне Копорской губы Финского залива в местах наиболее вероятной разгрузки грунтовых вод не обнаруживается значимого повышения активности ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в морских водах [4].

Величины выбросов радионуклидов в атмосферу на ЛСК представлены в табл. 1 [5, 7]. Выброс трития в среднем составляет $1,6 \cdot 10^{12}$ Бк/г. Высота источников выбросов на ЛСК не превышает 26 м.

Техногенная радиоактивность аэрозолей приземного воздуха на территории предприятия практически полностью формируется за счет влияния выбросов ЛАЭС, расположенной вблизи ЛСК. При этом объемные активности радионуклидов в приземном воздухе в районе расположения ЛСК значительно ниже допустимых значений (в 10^4 – 10^6 раз).

Уровень радиоактивности почвы и растительности на промплощадке и в санитарно-защитной зоне ЛСК не отличается от уровней регионального радиационного фона. Основным техногенным радионуклидом в почве является ¹³⁷Cs, содержание которого в среднем составляет $1,8 \pm 0,2$ кБк/м². Содержание ⁶⁰Co в пробах почвы в последние годы было ниже минимально детектируемой активности, равной 0,1 кБк/м².

Таблица 1

Мощность выбросов радионуклидов в атмосферу, Бк/г

Радионуклид	2008 г.	2009 г.	2010 г.	Допустимый выброс
^{89,90} Sr	1,25·10 ⁷	6,80·10 ⁷	3,84·10 ⁷	1,90·10 ⁹
¹³⁷ Cs	1,00·10 ⁷	8,50·10 ⁷	4,80·10 ⁷	2,37·10 ⁹
²¹⁰ Pb	2,50·10 ⁶	1,70·10 ⁷	9,60·10 ⁶	4,74·10 ⁸
²¹⁰ Po	3,55·10 ⁶	1,15·10 ⁷	1,10·10 ⁷	3,17·10 ⁷
ΣPu	3,55·10 ⁶	1,15·10 ⁷	1,10·10 ⁷	3,17·10 ⁷

ОЦЕНКА ПЛАНИРУЕМОЙ ДОЗЫ ОТ ВЫБРОСОВ ЛСК

Оценка планируемой дозы от выбросов радиоактивных веществ ЛСК производилась на основании методики ДВ-98 [6] с учетом проекта методики ДВ-2010. Величины выбросов задавались по усредненным данным представленным в табл. 1. Основным источником выбросов ЛСК является здание 30, в котором расположены установки сжигания, цементирования и прессования РАО. Результаты расчета среднегодовых концентраций радионуклидов в воздухе и их выпадений на подстилающую поверхность от выбросов ЛСК приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные оценки среднегодовых концентраций радионуклидов в воздухе и их выпадений на подстилающую поверхность от выбросов ЛСК

Нуклид	Концентрации в воздухе, Бк/м ³	Выпадения на поверхность земли, Бк/м ²
⁹⁰ Sr	3,1·10 ⁻⁷	8,2·10 ⁻²
¹³⁷ Cs	2,5·10 ⁻⁷	6,5·10 ⁻²
²¹⁰ Pb	6,2·10 ⁻⁸	1,6·10 ⁻²
²¹⁰ Po	8,6·10 ⁻⁸	2,2·10 ⁻²
²³⁹ Pu	8,6·10 ⁻⁸	2,2·10 ⁻²

Из таблицы 3 видно, что концентрации радионуклидов в воздухе на 5–8 порядков меньше допустимых объемных активностей для населения, приведенных в НРБ-99/2009.

Дозы облучения населения от выбросов ЛСК представлены в табл. 3, из которой видно, что значения доз невелики и не превышают 1,1·10⁻⁴ мЗв/г., что на два порядка ниже величины дозы, относящейся к категории пренебрежимого радиационного риска. Наибольший вклад в суммарную дозу планируемого облучения

Таблица 3

Результаты расчета доз облучения населения от выбросов ЛСК

Доза облучения, Зв/г	От продуктов питания	От вдыхания	От облака	От почвы	Суммарная доза
	9,2·10 ⁻⁸	2,2·10 ⁻⁸	1,4·10 ⁻¹⁴	1,3·10 ⁻¹⁰	
Наиболее значимые радионуклиды (вклад в дозу, %)	²¹⁰ Po – 68% ²¹⁰ Pb – 19% ⁹⁰ Sr – 8%	²³⁹ Pu – 91% ²¹⁰ Po – 7%	¹³⁷ Cs – 100%	¹³⁷ Cs – 100%	²¹⁰ Po – 59% ²³⁹ Pu – 20% ²¹⁰ Pb – 16%

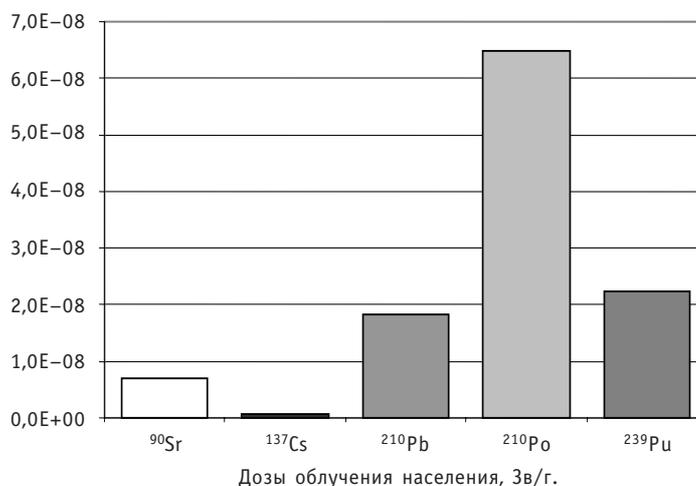


Рис 1. Дозы облучения населения различными нуклидами от выбросов ЛСК

вносят продукты питания ($9,2 \cdot 10^{-5}$ мЗв/г.), а из выбрасываемых радионуклидов – ^{210}Po ($6,5 \cdot 10^{-5}$ мЗв/г.) (рис. 1).

ОЦЕНКА ДОЗЫ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ТЕХНОГЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛСК

Дозы существующего техногенного облучения в районе расположения ЛСК формируются выбросами не только этого предприятия, но и ЛАЭС, расположенной вблизи ЛСК, а также выпадениями радионуклидов в результате Чернобыльской аварии и предшествующих испытаний ядерного оружия.

Обобщенные данные о выбросах контролируемых радионуклидов на ЛАЭС и формируемых ими параметрах радиационной обстановки, рассчитанных по методике ДВ-98, представлены в табл. 4.

Сравнение оценок дозы в табл. 3 и 4 свидетельствует о том, что в штатном режиме дозы облучения от выбросов ЛАЭС несколько выше (в 1,4 раза) по сравнению с дозами от выбросов ЛСК, однако значительно ниже допустимого предела дозы для населения (более чем в 6000 раз) и в 100 раз ниже радиационного техногенного фона. Вклад в дозу от выбросов ЛАЭС для различных радионуклидов составляет ^{137}Cs – 47%, ^{134}Cs – 19%, ^{131}I – 18%, ^{60}Co – 16%.

Доза существующего техногенного облучения в районе расположения ЛСК и ЛАЭС составляет $1,5 \cdot 10^{-5}$ Зв/г. и практически полностью определяется ^{137}Cs , по-

Таблица 4

Выбросы радионуклидов на ЛАЭС и формируемые ими параметры радиационной обстановки

Радионуклид	Выбросы в атмосферу, Бк/г.	Объемная активность в воздухе, Бк/м ³	Выпадения на поверхность земли, Бк/м ² в год	Доза на население, Зв/г.
^{60}Co	$8,4 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	0,45	$2,4 \cdot 10^{-8}$
^{131}I	$8,2 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	4,4	$2,7 \cdot 10^{-8}$
^{134}Cs	$3,5 \cdot 10^7$	$7,3 \cdot 10^{-7}$	0,19	$2,9 \cdot 10^{-8}$
^{137}Cs	$1,3 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	0,71	$7,1 \cdot 10^{-8}$
Суммарная доза от выбросов ЛАЭС				$1,5 \cdot 10^{-7}$

павшим в окружающую среду в результате предшествующих испытаний ядерного оружия и атмосферных выпадений после Чернобыльской аварии.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ГИПОТЕТИЧЕСКОЙ АВАРИИ

В качестве сценария гипотетической аварии было принято падение самолета на территорию ЛСК. Предполагается, что радиационная авария может произойти в хранилище твердых РАО, размещенных навальным способом. Геометрический объем хранилища ТРО составляет 3000 м³. Общая активность накопленных ТРО оценивается в 10¹⁶ Бк, что составляет по активности около половины всех накопленных на предприятии РАО. Основной вклад в эту активность вносят ³H, ⁶⁰Со и ¹³⁷Cs, находящиеся в отработанных закрытых радиационных источниках. Вклад других радионуклидов (⁹⁰Sr, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po, ²³⁹Pu) в общую активность ТРО, размещенных в хранилище значительно ниже. Радионуклидный состав аварийного выброса представлен в табл. 5.

Таблица 5

Радионуклидный состав аварийного выброса для сценария гипотетического падения самолета в хранилище ТРО ЛСК

Радионуклид	Период полураспада	Активность, Бк
³ H	12,3 лет	9,9·10 ¹³
⁶⁰ Со	5,27 лет	5·10 ¹¹
¹³⁷ Cs	30,0 лет	5·10 ¹¹
⁹⁰ Sr	29,1 лет	1·10 ¹⁰
²¹⁰ Pb	22,3 лет	1·10 ⁹
²¹⁰ Po	138 сут	1·10 ⁹
²³⁹ Pu	24100 лет	1,5·10 ⁹

Примечание. Эффективная высота выброса принята равной 30 м

Предполагается, что при падении самолета все оставшееся в нем топливо загорится; внутри пожара существует высокий уровень турбулентности, и зона пожара является изотермической и гомогенной, а ее форма остается сферической; прекращение горения топлива и отрыв зоны пожара от поверхности земли происходят одновременно; зона горения топлива при аварии представляет собой сферу, касательную к поверхности земли и расширяющуюся в радиальном направлении, при этом центр зоны движется вверх; в ближней зоне взрыва наибольшую радиационную опасность будет представлять рассеяние радионуклидов, обусловленное их присутствием в дымовом столбе, формирующемся под всплывающим радиоактивным облаком. При сделанных выше предположениях высота дымового столба, как показывают расчеты, составит около 30-ти метров.

Следует отметить, что рассматриваемый сценарий является гипотетическим и одним из наихудших с точки зрения возможных радиационных последствий. Вполне вероятно, что топливо не загорится как целое, а перед вспышкой успеет рассредоточиться по поверхности или не будет целиком вовлечено во всплывающее облако. В этом случае пожар будет носить поверхностный характер с меньшим количеством выброшенной активности, и его можно будет относительно быстро потушить.

Расчеты последствий гипотетической радиационной аварии проводились с использованием гауссовой модели атмосферной диффузии радионуклидов. В качестве определяющих метеорологических параметров были выбраны категории устойчивости пограничного слоя атмосферы, направление и скорость ветра на высоте выброса, параметр шероховатости, эффективная высота источника выброса.

Анализ распределения численности населения в зоне возможного воздействия аварии на ЛСК показывает, что наиболее неблагоприятные метеоусловия во время аварии возникают в случае, если ветер дует в северо-восточном направлении (юго-западный ветер) в течение периода аварийного выброса. В северо-восточном секторе на расстоянии около 6 км от ЛСК находится г. Сосновый Бор, в котором проживает около 63-х тыс. человек. Во всех остальных секторах на расстояниях до 25–30 км от ЛСК численность населения существенно ниже.

Для выбора наиболее неблагоприятного состояния устойчивости атмосферы при условной аварии на ЛСК были проведены оценки доз облучения населения, при юго-западном ветре и различных состояниях устойчивости атмосферы. Расчеты показали, что при высоте выброса 30 м наиболее опасной метеорологической ситуацией является нейтральное состояние устойчивости атмосферы (категория устойчивости D). В качестве характеристики подстилающей поверхности в районе ЛСК использовался коэффициент шероховатости $z_0 = 0,1$. Изменение z_0 в пределах 0,05–0,2 не приводит к изменению дозы облучения более чем на 10% величины.

Были выполнены расчеты пространственного распределения объемной активности нуклидов в приземном слое атмосферного воздуха при прохождении радиоактивного облака, а также распределения поверхностной активности нуклидов для различных моментов времени после аварии. На основании данной информации определялись дозы облучения населения, а также плотность загрязнения подстилающей поверхности.

При расчете доз учитывались следующие пути облучения: внешнее облучение от облака выброса и поверхности почвы; внутреннее облучение от вдыхания активности из облака.

Согласно расчетам, наибольшую дозу облучения получит взрослое население. Индивидуальная прогнозируемая доза облучения этой группы за 10 суток не превысит уровень A , равный 5 мЗв (табл. 6.3 НРБ-99/2009), для меры защиты – «укрытие» по критерию «облучение всего тела». Таким образом, неотложных мер защиты в начальный период гипотетической аварии применять не требуется. Максимальная доза облучения за 10 суток ожидается на расстоянии 1,4 км от места выброса радионуклидов в атмосферу. Около 86% эффективной дозы облучения за 10 суток связаны с ингаляционным облучением, 14% – с внешним облучением от выпадений на подстилающую поверхность. Вклад в дозу внешнего облучения от облака пренебрежимо мал.

Консервативная оценка максимальной эффективной дозы облучения взрослого человека за 10 суток с учетом трех перечисленных выше путей облучения составляет около 1 мЗв, а за год – около 6 мЗв. Увеличение дозы на 5 мЗв связано с облучением от подстилающей поверхности.

На рисунке 2 представлены зоны с различными уровнями облучения взрослого населения на открытой местности в течение одного года после начала аварии. Первая зона ограничивает территорию, на которой доза облучения превосходит 1 мЗв. Ее максимальная ширина около 0,5 км, длина – около 9 км. В следующей зоне уровень облучения от 0,3 до 1 мЗв. На рисунке 2 помещена таблица, в которой приведены площади этих зон и проинтегрированные по площади дозы облу-

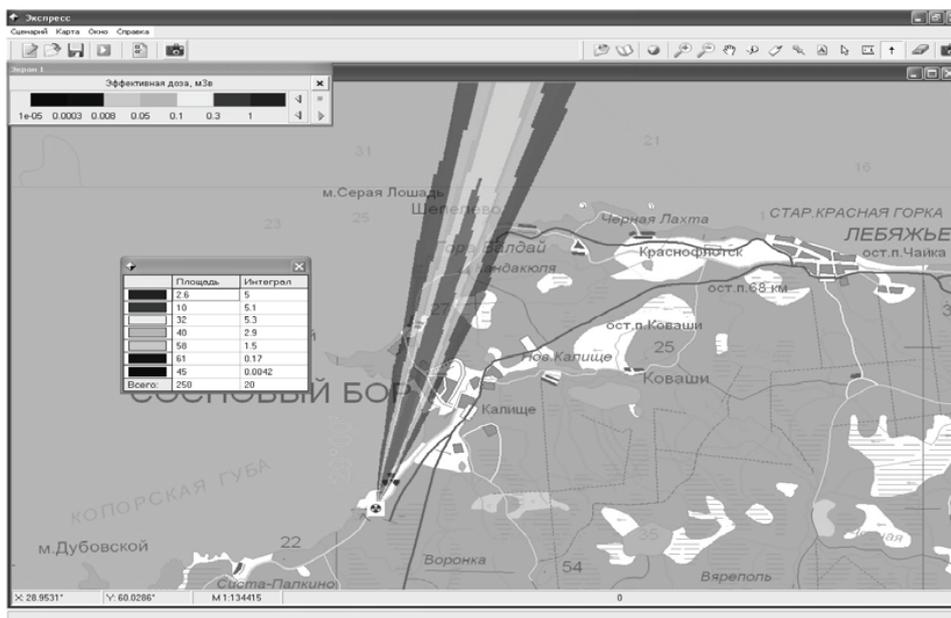


Рис. 2. Территории с различными уровнями эффективных доз облучения взрослого населения за 365 суток после начала гипотетической аварии на ЛСК

чения. Из таблицы видно, что площадь первой зоны составляет 2,6 км², средняя доза в ней равна около 2 мЗв (значение во втором столбце делится на значение в первом).

Анализ полученных результатов показывает, что около 70 % дозы за первый год после рассматриваемой гипотетической аварии связаны с облучением от ⁶⁰Co, 17% дозы обусловлены ¹³⁷Cs, 12% – вклад ²³⁹Pu. Суммарная доза облучения от ³H, ⁹⁰Sr, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po не превосходит 2% годовой аварийной дозы.

ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ РЕФЕРЕНТНЫХ ОБЪЕКТОВ БИОТЫ

Оценки дозовых нагрузок на биоту от хранилищ ЛСК выполнялись для референтных представителей природной биоты, обитающих в непосредственной близости от хранилища РАО. Из перечня референтных типов биоты, рекомендованных МКРЗ (ICRP, 2009), репрезентативными для оценки радиозоологической ситуации вблизи хранилища РАО являются следующие организмы: дождевой червь, мышь, сосна, травянистая растительность.

Условия обитания референтных организмов в непосредственной близости от хранилищ РАО (менее 0,5 м от стен) предполагались следующими:

- почвенное беспозвоночное (червь) постоянно находится внутри загрязненного грунта вблизи загрязненных почвенных вод;
- норное животное (мышь) половину времени проводит в норе, вырытой в загрязненном грунте; половину времени – на поверхности загрязненного грунта вблизи стенки хранилища РАО;
- дерево и трава растут на загрязненном грунте в непосредственной близости от стены хранилища РАО; питание растений происходит из загрязненных грунтов и почвенных вод с концентрациями радионуклидов, соответствующих активностям в скважинах по периметру хранилищ РАО.

Параметры радиационной обстановки в непосредственной близости к хранилищам ЛСК были взяты из данных мониторинга; для консервативных оценок использовались следующие обобщенные значения:

- мощность дозы на поверхности хранилища твердых радиоактивных отходов – до 15 мкГр/ч;
- содержание техногенных радионуклидов в грунтовых водах в скважинах по периметру хранилищ, Бк/л: ^{137}Cs – $6,7 \cdot 10^2$; ^{90}Sr – $4,4 \cdot 10^3$; ^3H – $3,7 \cdot 10^7$; ^{239}Pu – 0,5;
- содержание техногенных радионуклидов в грунте вблизи стен хранилищ, Бк/кг: ^{137}Cs – $3,7 \cdot 10^4$; ^{90}Sr – $3,7 \cdot 10^4$; ^3H – $8,1 \cdot 10^6$; ^{239}Pu – 0,5.

Расчеты дозовых нагрузок на референтные объекты биоты проводились в соответствии с методикой и моделями работ [2, 9–11]. Результаты расчетов представлены в табл. 6; вклады отдельных техногенных радионуклидов в мощность дозы внутреннего облучения биоты вблизи хранилищ ТРО предприятия – в табл. 7.

Таблица 6

Уровни хронического облучения биоты вблизи хранилищ радиоактивных отходов ЛСК, 10^{-6} Гр/ч

Референтный организм	Мощность дозы внешнего облучения	Мощность дозы внутреннего облучения	Суммарная мощность дозы
Мышь	15	125	140
Дождевой червь	19	91	110
Трава	19	72	91
Дерево	5	80	85

Таблица 7

Мощности дозы внутреннего облучения биоты различными радионуклидами вблизи хранилищ радиоактивных отходов ЛСК, 10^{-6} Гр/ч

Радионуклид	Организм			
	Мышь	Дождевой червь	Трава	Дерево
^{137}Cs	18	5,2	1,0	1,2
^{90}Sr	40	19	3,9	12
^3H	67	67	67	67
^{239}Pu	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Сумма от всех радионуклидов	125	91	72	80

Расчитанные дозовые нагрузки на биоту являются консервативными и отражают наибольшие уровни облучения, которые могут получить организмы природных экосистем вблизи хранилищ ЛСК. Эти максимальные величины дозовых нагрузок лежат в пределах интервала значений референтных безопасных уровней хронического облучения организмов биоты – $(40-400) \cdot 10^{-6}$ Гр/ч, представленных в публикации НКДАР ООН [11]. Таким образом, даже для таких консервативных оценок не следует ожидать заметного снижения продолжительности жизни референтных организмов биоты, обитающих вблизи ЛСК.

За пределами промплощадки предприятия уровни облучения организмов биоты существенно снижаются и практически не превышают фоновых значений.

Для более точных оценок дозовых нагрузок и выявления потенциальных радиационных эффектов целесообразно проводить систематический радиоэкологический мониторинг уровней загрязнения биоты в непосредственной близости от хранилищ РАО. Поскольку территория в непосредственной близости от хранилищ РАО явля-

ется весьма малой частью естественного ареала обитания локальных популяций референтных организмов, на популяционном уровне влияние ЛСК незначительно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты комплексной оценки радиационно-экологического воздействия хранилищ радиоактивных отходов Ленинградского спецкомбината показывают, что дозы планируемого облучения от штатных выбросов составляют в среднем $1,1 \cdot 10^{-4}$ мЗв/г., т.е. значительно ниже уровня дозы, относящейся к категории пренебрежимого радиационного риска. По сравнению с планируемым облучением более высокие дозы характерны для существующего облучения ($1,5 \cdot 10^{-2}$ мЗв/г.), что обусловлено региональным техногенным радиационным фоном, не связанным с деятельностью ЛСК. Основной вклад в этот техногенный фон в рассматриваемом случае дает ^{137}Cs «чернобыльского» происхождения. Вместе с тем следует отметить, что дозы существующего облучения значительно ниже допустимых пределов дозы и не превышают 1–2% от природного фона. Показано, что при заданном сценарии радиационной аварии отсутствуют территории в районе расположения предприятия, на которых меры защиты населения необходимо применять в обязательном порядке.

Дозы облучения объектов биоты выше дозы техногенного облучения населения. Более высокие уровни облучения характерны для организмов наземной биоты в непосредственной близости от хранилищ радиоактивных отходов ЛСК. Однако и эти максимальные дозы находятся в пределах референтных безопасных уровней облучения организмов биоты, которые не должны сказываться на продолжительности их жизни. За пределами промплощадки предприятия дозы облучения биоты не превышают фоновых значений.

Литература

1. Андерсон Е.Б., Савоненков В.Г., Шабалев С.И. Перспективы создания подземных могильников РАО в нижнекембрийских глинах Ленинградской области/Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина. – Т. XI, 2006.
2. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Имитационные модели динамики экосистем в условиях антропогенного воздействия ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-2009. – М.: Минздрав России, 2009.
4. Оценка влияния атомно-промышленного комплекса на подземные воды и смежные природные объекты (г. Сосновый Бор Ленинградской области)/Под ред. В.Г. Румынина. – СПб.: СПбГУ, 2003.
5. Росгидромет. ГУ «НПО Тайфун». Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2009 г. – Обнинск: Росгидромет, 2010.
6. Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу (ДВ-98). – М.: Госкомэкология России, Минатом России, 1999.
7. Серебряков И.С., Брыкин С.Н. Радиационная обстановка на предприятиях Государственной корпорации Росатом в 2010 г. – М.: ФГУП РосРАО, 2011.
8. ICRP – International Commission on Radiological Protection. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009.
9. Kryshev, A.I., Sazykina, T.G., Strand, P. & Brown, J.E. Radioecological model for dose estimation to Arctic marine biota. In: Proceedings of the 5th International Conference on Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic. NRPA, 2002. – P. 326-329.
10. Ulanovsky A., Pruhl G. Tables of dose conversion coefficients for estimating internal and external radiation exposures to terrestrial and aquatic biota//Radiation and Environmental Biophysics. – 2008. – V. 47 (2). – P. 195-203.
11. UN – United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. United Nations, New York, 2011.

Поступила в редакцию 5.03.2012

(Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 9 titles.

Dynamic processes in thermal insulation of power plants pipelines caused by depressurization are the goal of the research. Simulation of various leaks was realized by using adapted computer code «KUPOL-M» developed in SSC RF IPPE.

УДК 621.039.7

Assessment and prognosis of radioecological impact of the radioactive wastes storage sites of the «North-West Territorial District» Leningrad branch of FGUP «RosRAO» | I.I. Kryshev, A.Y. Pahomov, S.N. Brykin, V.G. Boulgakov, T.G. Sazykina, I.A. Pahomova, I.S. Serebryakov, N.S. Roznova, A.I. Kryshev, I.Y. Gaziev, K.V. Lunyova, M.A. Dmitrieva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 7 tables, 2 illustrations. – References, 11 titles.

Analysis of radioecological situation was performed for the territories located near the radioactive waste storage sites of the «North-West Territorial District» Leningrad branch of FGUP «RosRAO». The planned annual dose from the regular releases is estimated to be $1,1 \cdot 10^{-4}$ mSv/year, which is two orders of magnitude lower than the level of negligible radiation risk. At present, annual doses are considerably lower than the permissible dose limits; they do not exceed 1-2% of the natural radiation background. Hypothetical scenario of radiation accident was developed; it was shown the absence of territories where obligatory measures of radiation protection of population should be applied in the case of such scenario. Outside the working areas dose rates to biota do not exceed the natural background levels.

УДК 621.039.003

Assessment of Russia Nuclear Power Development Model Sensitivity Analysis to Possible Changes of Selected Economic Parameters | A.F. Egorov, V.V. Korobeynikov, E.V. Poplavskaya, G.A. Fesenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 5 tables, 5 illustrations. – References, 4 titles.

Different variants of Russia nuclear power development scenarios are compared. The major technical and economic indicators are taken into account. In scenarios at price change for separate components of the system balance between thermal and fast reactors is changing, quantity of plutonium, quantity of demanded natural uranium, spent fuel volumes and a radioactive waste are estimated.

УДК 621.039.534

Iron Oxide Reference Electrodes in Solid Electrolyte Sensors Designed to Control the Thermodynamic Activity of Oxygen | P.N. Martynov, R.Sh. Askhadullin, K.D. Ivanov, M.E. Chernov, V.V. Ylyanov, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy, R.Yu. Cheporov, S.-A.S. Niyazov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 6 pages, 4 illustrations. – References, 5 titles.

The paper presents results on the use of iron oxide reference electrode in the oxygen activity sensors used to measure the oxygen activity in heavy liquid metal coolants. The specific features of the operation of the sensor with iron oxide reference electrode are established and comparative characteristics with respect to other applicable reference electrodes are presented. Conclusions on the reasonability of its use for measurement of oxygen activity in liquid metal media are drawn.

УДК 621.039.534

Peculiarities of Metrological Calibration of Oxygen Activity Sensors in Liquid Metal Coolants | P.N. Martynov, R.Sh. Askhadullin, A.N. Storozhenko, M.E. Chernov, V.V. Ylyanov, V.M. Shelemetev, R.P. Sadovnichy, P.V. Kuzin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 7 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 5 titles.