

Разработка методологических подходов к оценке риска для населения и окружающей среды при эксплуатации радиационно-опасных объектов в нормальном режиме; сравнительная оценка риска

Л.Д. Блинова, В.Н. Душин

Изложены основные результаты многолетнего радиационно-экологического мониторинга на российском побережье Балтийского моря в районе расположения объектов ядерного комплекса в г. Сосновый Бор Ленинградской области. Функционирование радиационно-опасных объектов в этом регионе находится под пристальным вниманием огромного числа физических лиц и всевозможных организаций. Для оценки и ранжирования факторов и источников техногенного риска, а также обоснования принятия управленческих решений рассмотрены разработанные на основе собственных результатов регионального мониторинга и международных рекомендаций методологические подходы к сбору, обработке, анализу и представлению данных мониторинга для оценки риска неблагоприятных экологических последствий в районе расположения радиационно-опасных объектов. Приведены результаты оценки вероятности неблагоприятных эффектов в здоровье человека от загрязнения окружающей среды радиоактивными и вредными химическими веществами в районе расположения объектов ядерного комплекса в г. Сосновый Бор при их длительной эксплуатации в нормальном режиме.

Введение

В мировой практике приемлемость деятельности с использованием радиоактивных веществ принято оценивать на основе анализа риска для человека [1]. Решающее значение для развития атомной энергетики и промышленности, наряду с требованием минимизации риска аварий ядерных реакторов, имеет обеспечение ее безопасности для населения и окружающей среды в условиях длительной эксплуатации объектов ядерного комплекса в штатном режиме. Внедрение системы оценок риска неблагоприятных экологических последствий в районах расположения ядерных установок и других радиационно-опасных объектов имеет исключительное значение для выбора стратегии развития регионов России.

При оценке воздействия на окружающую среду объектов ядерного комплекса, работающих в нормальном режиме, мы придерживаемся трактовки термина «риск» как вероятности неблагоприятных эффектов для здоровья человека и окружающей среды от действия радиационных и нерадиационных факторов. Согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 14050-99 [2], понятие «окружающая среда» нормативно включает в себя и человека.

Цель оценки риска – системно оценить и организовать данные, информацию, модельные представления, предположения и неопределенности так, чтобы предоставить лицам, принимающим решения, в том числе ответственным за защиту здоровья людей и окружающей среды, информацию для принятия управленческих решений. Лицам, принимающим решения, необходимо знать главный риск для конечных точек оценки и убедиться, поддерживаются ли заключения большими массивами данных достаточного количественного объема и необходимого качества и надежности, либо в них имеются значительные информационные пробелы.

Международными исследованиями подтверждена необходимость сравнительной оценки риска, в частности, топливных циклов различных видов, при выборе спо-

соба производства энергии. Полученные Европейской комиссией независимые результаты показывают, что при нормальных условиях эксплуатации радиационно-опасных объектов ядерная энергия оказывает негативное воздействие на окружающую среду и здоровье в меньших масштабах, чем ископаемое топливо. В то же время исследования важнейших непосредственных источников радиологической опасности, связанных с ядерным топливным циклом, показали, что при замкнутом ядерном топливном цикле значительное радиологическое воздействие на население оказывают (каждый в отдельности) процессы переработки топлива (80,7%) и производства электроэнергии (15,3%) [3].

Необходимость сравнения различных техногенных источников риска, в частности радиационно-опасных и других хозяйственных объектов, обуславливает организацию в районах расположения радиационно-опасных объектов работ по идентификации источников загрязнения окружающей среды и оценке их вкладов в загрязнение окружающей среды.

В 1997 г. Постановлением “Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации” МЗ РФ и МПР РФ утверждено «Положение о порядке оценки риска загрязнения окружающей среды здоровью населения в Российской Федерации». В соответствии с указанной методологией, приоритеты экологической политики в РФ смещены с преимущественно природоохранной деятельности на программные действия, ориентированные на защиту здоровья людей от вредного воздействия загрязненной окружающей среды. Критерием экологической безопасности хозяйственной деятельности является вероятность неблагоприятных последствий для здоровья человека от загрязнения окружающей среды.

Необходимость сравнения воздействия различных техногенных факторов риска в районе расположения радиационно-опасных объектов обуславливает требование получения оценок риска здоровью человека в принятых в настоящее время единых показателях – вероятности смертельного и несмертельного рака и тяжелых наследственных эффектов [1, 4].

Целью настоящей статьи является разработка общей методологии организации мониторинга окружающей среды и оценки риска для населения и окружающей среды при эксплуатации радиационно-опасных объектов в нормальном режиме.

Объем и методы исследования

В регионе г. Сосновый Бор Ленинградской области функционируют Ленинградская АЭС с головным реактором РБМК-1000, Региональное предприятие по переработке и хранению радиоактивных отходов – Ленинградский Спецкомбинат «Радон», Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова, предприятие по дезактивации и переработке металлических радиоактивных отходов – ЗАО «Экомет-С». Регион площадью около 1200 км² с населением менее 100 тыс. человек характеризуется доминированием в промышленности предприятий ядерного цикла, в сельском хозяйстве – интенсивными агрокультурой и животноводством. 30-километровая зона Ленинградской АЭС полностью входит в эти границы и является частью района исследований.

Исходя из многолетнего опыта проведения мониторинга окружающей среды в районах расположения РОО, авторы поддерживают мнение Агентства окружающей среды США (ЕРА, 1998 г.) [5] о том, что именно мониторинг является наиболее

информативным, достоверным, эффективным и недорогим способом сбора информации о загрязнении окружающей среды для оценки риска.

В отличие от существующей на РОО организации радиационного контроля окружающей среды, целью которого является доказательство непревышения допустимых объемных/удельных активностей техногенных радионуклидов в компонентах окружающей среды в результате выбросов и сбросов с радиационно-опасных объектов, организованный в начале 70-х годов комплексный мониторинг окружающей среды в регионе г. Сосновый Бор направлен на:

- исследования, оценку и ранжирование радиационных и нерадиационных факторов и их источников в окружающей среде;
- получение количественных оценок доз внутреннего и внешнего облучения населения в регионе г. Сосновый Бор и путей их формирования;
- оценку воздействия объектов ядерного комплекса на окружающую среду и здоровье человека по сравнению с другими промышленными объектами;
- информационную поддержку принятия решений для обеспечения экологической безопасности при долговременном хранении радиоактивных отходов;
- информационную поддержку выполнения требований законов РФ по готовности к чрезвычайным радиационным ситуациям.

Составными частями системы мониторинга в г. Сосновый Бор являются радиационный, химический и биологический мониторинги; виды объектов окружающей среды, объем, место и периодичность отбора проб определены таким образом, чтобы минимизировать вероятность не обнаружить изменения в воде, воздухе, компонентах экосистем, в то время как они произошли; чувствительность методических средств достаточна для определения фоновых концентраций техногенных загрязнителей в окружающей среде; система радиационного мониторинга обеспечивает получение информации, необходимой для оценки вклада потенциальных источников облучения в формирование внешней и внутренней дозовой нагрузки на население, оценки стабильности обращения с источником радиационной опасности.

Результаты, полученные в процессе многолетнего комплексного мониторинга окружающей среды и сравнительной оценки воздействия объектов ядерного комплекса (радиационный фактор) и других источников (нерадиационные факторы) в г. Сосновый Бор [6-19], использованы для разработки методологии оценки риска [20-24] на основе международных рекомендаций по оценке риска [1, 4, 25, 26], руководств по оценке дозовых нагрузок на население [27-29], международных нормативных документов по радиационной безопасности [30-33], отечественных нормативных документов по оценке воздействия на окружающую среду [34-37], опыта оценок риска в России [38, 39], законов РФ и других нормативных документов [40-44], исходных данных по выбросам и сбросам радиоактивных веществ в окружающую среду [45, 46].

Предварительная расчетная оценка дозы внешнего облучения от газо-аэрозольных выбросов Ленинградской АЭС выполнена с использованием компьютерного кода МАССС2 [27] на основе данных о выбросах ЛАЭС за 1985 и 1998 гг. [45, 46]. Оценки годовых доз внутреннего облучения от потребления продуктов питания выполнены на основе «Методических указаний по расчету радиационной обстановки в окружающей среде и ожидаемого облучения населения при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу» [28] и Нормативно-технического документа ИнтерАтомЭнерго 38.220.56-84. «Безопасность в атомной

энергетике. Общие положения безопасности АЭС. Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения» [29]. В качестве входных данных для расчета ожидаемой эквивалентной дозы использовались собственные результаты многолетнего мониторинга.

В расчетах использовались количественные значения коэффициентов радиационного риска [1, 4] для населения, учитывающие фатальный ($0,050 \text{ [чел}\cdot\text{Зв]}^{-1}$) и нефатальный ($0,010 \text{ [чел}\cdot\text{Зв]}^{-1}$) рак, и тяжелые наследственные эффекты ($0,013 \text{ [чел}\cdot\text{Зв]}^{-1}$). В соответствии с рекомендациями МКРЗ при оценке радиационного риска используется линейная беспороговая форма зависимости доза – эффект.

Оценка риска от загрязнения воздуха, питьевой воды и продуктов питания химическими веществами производилась с учетом рекомендаций Агентства окружающей среды США [4, 5, 25-27].

Результаты и обсуждение

При эксплуатации АЭС в штатном режиме спецификой техногенного воздействия на природную среду и человека, в частности при использовании в качестве охлаждаителей естественных водоемов, являются энергетический потенциал теплых сбросных вод и повседневные, существенно ниже допустимых, выбросы и сбросы радиоактивных веществ. Это воздействие происходит на фоне характерного для России повсеместно высокого уровня загрязнения природной среды химическими веществами, а также остаточного загрязнения территорий техногенными радионуклидами вследствие испытаний ядерного оружия и аварий на радиационно-опасных объектах.

Рассматриваемая ниже сравнительная оценка риска неблагоприятных экологических последствий при эксплуатации объектов ядерного комплекса в регионе г. Сосновый Бор является составной частью сравнительного анализа рисков для здоровья человека и окружающей среды на одном из важнейших этапов производства электроэнергии.

Радиационный риск

Действующие стандарты радиационной безопасности жестко регламентируют уровень приемлемого риска, предъявляя дополнительные требования к качеству информации (полноте, объективности, достоверности), используемой для оценки радиационного риска. В связи с этим основным требованием к организационной структуре мониторинга окружающей среды в районе расположения объектов ядерного комплекса является обеспечение возможности получения информации, необходимой для оценки вклада потенциальных источников облучения в формирование эффективной дозы для населения региона, оценки стабильности обращения с источником радиационной опасности, прогноза дозы потенциального облучения, того, насколько хорошо он управляем.

Для решения основных задач, присутствующих в стадиях оценки радиационного риска, существует множество методик и рекомендаций, например для оценок атмосферного переноса и доз для аварийных условий и определения допустимых воздействий на окружающую среду (ИнтерАтом84 ОНД86, МПА98, ДВ98). Известны и применяются в научных исследованиях программные продукты для расчетов дозовой нагрузки во время радиационных инцидентов и при нормальной эксплуатации (например, MACCS, COSYMA, PC-CREAM), оценке эффектов при использовании природных ресурсов в условиях загрязнения радионуклидами (CezarDDS, RESRAD, RESTRAT, ECOFATE, PRESTO).

По нашим предварительным оценкам, выполненным для 1985 и 1998 гг., при работе объектов ядерного комплекса в Сосновом Бору в штатном режиме, эффективная доза на население находится в диапазоне 20-50 мкЗв/год (см. таблицу 1). В 1985 г. доза облучения населения (50 мкЗв/год) определялась выбросами инертных радиоактивных газов ЛАЭС, распространяющихся по направлению преобладающих ветров в сторону г. Сосновый Бор. В 1998 г., в основном в результате существенного снижения газо-аэрозольных выбросов ЛАЭС, дозовая нагрузка на население снизилась до 20 мкЗв/год и определялась в основном потреблением местных продуктов питания, загрязненных ^{137}Cs «чернобыльского происхождения».

Таблица 1

Предварительная оценка доз техногенного облучения населения
г. Сосновый Бор, мкЗв/год

Вид облучения	Доза, 1985	Доза, 1998
Внутреннее: ^{137}Cs в продуктах питания и питьевой воде Йод в воздухе: эквивалентная доза (щитовидная железа) эквивалентная эффективная доза	1,02 0,78 (в т.ч. от 1-й очереди 0,24) 0,065 (в т.ч. от 1-й очереди 0,019)	13,8 0,345 (в т.ч. от 1-й очереди 0,084) 0,0226 (в т.ч. от 1-й очереди 0,006)
Внешнее: ^{41}Ar и $^{133,135}\text{Xe}$ в облаке ^{137}Cs в почве	51,26 (в т.ч. от 1-й очереди 20,9) 0,5	2,89 (в т.ч. от 1-й очереди 1,58) 4,8
Суммарная эффективная доза	52,85	21,5

Ранжирование источников доз внешнего и внутреннего облучения возможно после дополнительных исследований вероятностных распределений дозовых нагрузок на население, проживающее вблизи ядерного комплекса в Сосновом Бору, с учетом метеорологических, демографических и других региональных особенностей.

Оцененная величина индивидуального пожизненного риска (см. табл. 2) от техногенного облучения жителей г. Сосновый Бор в 1985 и 1998 годы $(1,6 - 3,9) \cdot 10^{-6}$ составляет 0,6-1,4% от риска за счет естественного радиационного фона, лежит выше уровня пренебрежимых рисков (10^{-6}) и находится в области «исследований», когда, в соответствии с НРБ-99, требуется уточнить оценки величины годовой эффективной дозы и определения дозы, ожидаемой за 70 лет.

Санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99), согласно соответствующим оценкам дозовых нагрузок, требуют осуществлять «радиационный контроль с оценкой доз облучения населения за счет радиоактивного загрязнения территории, если эта доза может превысить 10 мкЗв/год». Оцененный индивидуальный риск неблагоприятных эффектов в здоровье человека от естественного радиационного фона в 300 мкЗв/год [4] составляет ежегодно $2,19 \cdot 10^{-4}$.

Таблица 2

Предварительные оценки индивидуального пожизненного риска
от техногенного облучения жителей г. Сосновый Бор

Год	Риск смер- тельного рака,	Риск несмер- тельного рака	Риск геноток- сичных эффектов	Суммарный риск
1985 год	$2,64 \cdot 10^{-6}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$6,9 \cdot 10^{-7}$	$3,86 \cdot 10^{-6}$
1998 год	$1,10 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$1,57 \cdot 10^{-6}$
<i>Для справки</i>				
$K_{\text{риска}}$, случаев/чел·Зв	0,05	0,01	0,013	0,073
Естественный фон	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$2,19 \cdot 10^{-4}$

Химический риск

При оценке химического риска для здоровья населения определяются два основных типа вредных эффектов: канцерогенный и неканцерогенный.

Канцерогенные вещества вызывают увеличение частоты злокачественных новообразований. Важной характеристикой этих веществ является отсутствие порога действия. Ряд канцерогенных веществ влияет на наследственность увеличением частоты генетически обусловленных заболеваний. Канцерогенные и генетические эффекты тесно взаимосвязаны и сопоставимы по величине. Вместе они образуют класс стохастических эффектов при достаточно низких дозах (концентрациях). Нормирование канцерогенных эффектов осуществляется по уровню приемлемого риска. Сам же риск представляет собой вероятность (или при другой интерпретации – количество дополнительных случаев) заболеваний раком или наследственных заболеваний при воздействии оцениваемого фактора.

Неканцерогенные вещества вызывают ряд нарушений состояния здоровья, которые можно рассматривать как разные формы проявлений токсических эффектов, регистрируемых на клеточном, тканевом, организменном и популяционном уровнях.

Существует также еще один подход к оценке неканцерогенного риска от ингаляции загрязненного воздуха. Он основан на применении методик ЕРА, где приоритетными компонентами загрязнения воздушной среды, формирующими неканцерогенный риск, признаются твердые взвешенные частицы, которые, будучи повсеместно распространенными, вызывают дополнительные случаи смертности населения. Рассчитываются индивидуальный и популяционный риски от фракции твердых частиц размером менее 10 мкм, так называемые PM_{10} по классификации ЕРА. Предполагается определенное процентное увеличение смертности на каждые 10 мкг/м^3 . Подход основан на эпидемиологических исследованиях кратковременного и хронического воздействия PM_{10} в США. Результаты исследований показывают, что общая смертность увеличивается на 1% на каждые 10 мкг/м^3 увеличения PM_{10} .

Химический риск для населения г. Сосновый Бор оценивался от воздействия канцерогенных химических веществ в местных продуктах питания и питьевой воде и взвешенного вещества (неканцероген) в воздухе.

В таблице 3 приведены оценки риска для здоровья населения г. Сосновый Бор от загрязнения окружающей среды радиоактивными и вредными химическими веще-

ствами. Заметим, что риск для здоровья человека от воздействия химических веществ приведен к интервалу 1 год для возможности сравнения с радиационным риском.

Таблица 3

Оценки основных факторов риска здоровью населения от загрязнения природной среды в районе расположения объектов ядерного комплекса в г. Сосновый Бор Ленинградской области, случаев/чел.·год

Воздействующий фактор	Риск, $\times 10^{-6}$
Техногенные радионуклиды 1985, 1998. ^{137}Cs в местных продуктах питания. Выбросы инертных газов ЛАЭС.	1,6-3,9 0,07-1,0 0,2-3,7
Вредные химические вещества. Тяжелые металлы в местных продуктах питания. Тяжелые металлы в питьевой воде.	7,0 6,5 0,43
Пыль, PM_{10} .	40-130
Естественный радиационный фон.	200

Полученные оценки вероятности неблагоприятных эффектов в здоровье человека от загрязнения воды и продуктов питания местного производства тяжелыми металлами, в основном кадмием, и радиоактивными веществами находятся в диапазоне приемлемых рисков (10^{-5} - 10^{-6}). В России величина допустимого суммарного техногенного риска законодательно пока не определена. В США от многофакторного загрязнения окружающей среды является допустимым 1 дополнительный случай смерти на миллион населения. В Нидерландах допустимый риск составляет $1 \cdot 10^{-6}$ в год для отдельного вещества и $1 \cdot 10^{-5}$ в год – для суммарного воздействия [39].

Вероятность неканцерогенных эффектов от взвешенного вещества в воздухе существенно (в 6-20 раз) выше вероятности эффектов от загрязнения тяжелыми металлами продуктов питания и тем более, питьевой воды (более чем в 100 раз, см. табл. 3). По результатам выполненных работ основным фактором техногенного риска для здоровья населения города Сосновый Бор ($4,0 \cdot 10^{-5}$ – $1,3 \cdot 10^{-4}$ сл./чел.·год) является мелкодисперсная пыль в воздухе, а также загрязнение продуктов питания местного производства тяжелыми металлами, в основном кадмием ($6,5 \cdot 10^{-6}$ сл./чел.·год). Вероятность неблагоприятных эффектов от загрязнения воды, воздуха и продуктов питания местного производства техногенными радионуклидами, присутствующими в компонентах окружающей среды после аварии на Чернобыльской АЭС и в результате выбросов инертных радиоактивных газов ЛАЭС, по крайней мере, в несколько раз ниже химического риска.

Результаты, полученные в процессе многолетнего мониторинга окружающей среды и сравнительной оценки воздействия объектов ядерного комплекса (радиационный фактор) и других источников (нерадиационные факторы) в г. Сосновый Бор на окружающую среду, использованы для разработки методологии оценки риска [20-22, 24].

Методологические основы оценки риска

Побудительным мотивом для оценки риска неблагоприятных экологических последствий в регионе г. Сосновый Бор стали результаты систематического мониторинга окружающей среды, указывающие на изменения в экологических условиях региона при длительной эксплуатации хозяйственных объектов г. Сосновый Бор в штатном, безаварийном режиме [7, 10-13, 17].

В результате многолетних исследований было показано, что при эксплуатации АЭС в штатном режиме основное воздействие на окружающую среду оказывают факторы нерадиационной природы, в частности сброс подогретых вод ЛАЭС [8]. Воздействие тепловых сбросов на природный водоем-охладитель АЭС усугубляется общим высоким фоновым уровнем загрязнения окружающей среды химическими веществами. По данным многолетних исследований в Сосновом Бору [7, 10-13, 17], в водосборном бассейне Копорской губы основными химическими веществами, концентрации которых в природных водах превышают природный уровень, являются нефтепродукты, азот, фосфор, органические соединения, некоторые тяжелые металлы. Так, в 2000 г. средние концентрации нефтепродуктов в прибрежной акватории составили 0,223-0,262 мг/л (4,5-5 ПДК), в речных пробах – около 6 ПДК, средняя концентрация органических соединений составляет 60 мг/л (2 ПДК).

Вследствие загрязнения акватории Копорской губы фосфором и азотом, источником которого являются реки, локальные сбросы коммунальных вод и трансграничный перенос [8], особенно существенно проявление эффекта эвтрофирования прибрежных вод. Этот процесс влечет за собой цепь негативных проявлений: снижение видового разнообразия водных сообществ, ухудшение самоочищающей способности прибрежных вод, исчезновение некоторых биоресурсов. Так, в рыбном сообществе Копорской губы существенно изменился состав главных постоянных видов. Нарушение естественной структуры и функций прибрежных биоценозов ведет к снижению самоочищающей способности водоемов [47-49].

До настоящего времени в районах расположения радиационно-опасных объектов и на территории России действуют программы радиационного контроля и мониторинга окружающей среды различных ведомств и органов власти, однако выполнение этих программ не преследует цели оценки риска. В связи с изменившимся в последние годы законодательством в области радиационной безопасности (введением НРБ-99, ОСПОРБ-99, СП АС-99) и необходимостью использования методологии оценки риска при управлении качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации [34], по заказу Научно-технического центра ядерной и радиационной безопасности Госатомнадзора РФ были разработаны «Методологические рекомендации по сбору, обработке, анализу и представлению данных мониторинга для оценки риска неблагоприятных экологических последствий в районе расположения радиационно-опасных объектов». В соответствии с ними система мониторинга окружающей среды в районах расположения радиационно-опасных объектов должна объединять правовые нормы, концептуальную основу, технические и методические средства, обеспечивающие наблюдение за состоянием природных сред и экосистем, и информацию, необходимую для сравнительной оценки риска за счет факторов радиационной и нерадиационной природы (см. рис. 1).



Рис. 1. Схема организации работ для оценки риска неблагоприятных экологических последствий в районе расположения радиационно-опасных объектов.

В соответствии с общими подходами к оценке экологического риска [4, 5] и с учетом многолетнего опыта комплексного мониторинга, основными этапами оценки риска в районах расположения радиационно-опасных объектов являются:

1. Идентификация и ранжирование источников техногенного риска для окружающей среды. Наряду с радиационно-опасными объектами необходи-

мо оценить выбросы и сбросы и других источников загрязнения окружающей среды и возможного воздействия на население.

2. Идентификация и ранжирование техногенных факторов риска в окружающей среде. Наряду с радиоактивными веществами, поступающими в окружающую среду с повседневными выбросами и специфическими для радиационно-опасных объектов, необходимо оценить и другие загрязняющие вещества, в частности химические.
3. Характеристика и ранжирование риска для окружающей среды и населения. Наряду с оценкой радиационного риска необходимо оценить в принятых в настоящее время единых показателях, риск для населения от загрязнения окружающей среды, в частности, химическими веществами.
4. Многофакторная оценка риска. Необходимо оценить в единых показателях и ранжировать факторы и основные источники риска здоровью населения от загрязнения окружающей среды.
5. Оценка неопределенностей полученных результатов, связанная, в частности, с неопределенностями оценок коэффициентов химического риска, методологией сбора и анализа данных для оценки дозы внутреннего и внешнего облучения населения, неполным перечнем загрязняющих веществ в окружающей среде, учтенных при оценке риска.

Основным назначением Рекомендаций является обеспечение общих требований к информации, необходимой для получения объективных оценок и ранжирования радиационного и химического риска в районах расположения радиационно-опасных объектов на базе комплексной оценки состояния окружающей среды (см. рис. 1). Рекомендации разработаны в целях обеспечения компетентных органов, предприятий отрасли и других заинтересованных сторон нормативными документами для использования при организации системы мониторинга природной среды в районах расположения радиационно-опасных объектов. Рекомендации могут быть использованы для принятия решений и оценки стохастических эффектов в здоровье персонала радиационно-опасных объектов при необходимости выполнения работ в условиях комплексного воздействия радиоактивных и химических веществ.

Методология оценки радиационного риска основана на Рекомендациях МКРЗ, Агентства охраны окружающей среды США и других международных документах, НРБ-99, ОСПОРБ-99, Постановлений Минздрава РФ 1997 г., в соответствии с которыми основными исходными данными для оценки радиационного риска является величина эффективной эквивалентной дозы для населения и соответствующие коэффициенты риска.

Методология оценки химического риска основана на принципах, опубликованных в последние годы Минздравом РФ, МАГАТЭ и Агентством по охране окружающей среды США. В соответствии с принятыми методами основными исходными данными для оценки химического риска для населения являются концентрации вредных химических веществ в воде, воздухе, пище и соответствующие коэффициенты риска.

Заключение

Основным фактором техногенного риска здоровью населения города Сосновый Бор ($4,0 \cdot 10^{-5}$ – $1,3 \cdot 10^{-4}$ сл./чел.·год) является мелкодисперсная пыль в воздухе, а также загрязнение продуктов питания местного производства тяжелыми металлами, в основном кадмием ($6,5 \cdot 10^{-6}$ сл./чел.·год). Полученные оценки вероятности неблаго-

приятных эффектов в здоровье человека от загрязнения воды и продуктов питания химическими и радиоактивными веществами (10^{-5} - 10^{-6}) находятся в диапазоне приемлемых рисков. Вероятность неблагоприятных эффектов от загрязнения воды, воздуха и продуктов питания техногенными радионуклидами, присутствующими в компонентах окружающей среды после аварии на Чернобыльской АЭС и в результате выбросов инертных радиоактивных газов ЛАЭС, по крайней мере, в несколько раз ниже химического риска.

Результаты оценки в районах расположения радиационно-опасных объектов радиационного и химического риска, выраженные в сопоставимых единицах, позволяют ранжировать источники и факторы воздействия на окружающую среду, оценивать ущерб от загрязнения окружающей среды, могут быть использованы при выборе оптимальных управленческих решений, в частности для принятия решений и оценки стохастических эффектов в здоровье персонала радиационно-опасных объектов при необходимости выполнения работ в условиях комплексного воздействия радиоактивных и химических веществ, выборе способа производства электроэнергии, экономическом обосновании приоритетных природоохранных мероприятий, а также при разработке нормативно-технической документации, в частности закона о ядерном страховании.

Список литературы

1. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публикация 60 МКРЗ, Часть 2. М.: Энергоатомиздат, 1994, 208 с.
2. Управление окружающей средой. Словарь. ГОСТ Р ИСО 14050-99. М., 1999.
3. Струпчевски А. Сравнительные оценки эмиссий энергетических систем: польза и вред // Бюллетень МАГАТЭ, 41/1/1999, с. 19-24.
4. Evaluation of Human Health Effects from Normal Operation. Appendix C to Guidance for Conducting Risk Assessments and Related Risk Activities for DOE-ORO Environmental Management Program. BJC/OR-271, 1999, 232 p.
5. US EPA Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA/630/P-95/002F, April 98, Final. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, 1998, 171 p.
6. Недбаевская Н.А. Оценка воздействия выбросов атомных электростанций на агроэкосистемы (на примере Ленинградской АЭС) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. биол. наук. ВНИИСХР, Обнинск, 1992, 24 с.
7. Блинова Л.Д., Недбаевская Н.А., Зими́на Л.М., Виногорова В.Т. Комплексный радиационно-экологический мониторинг в районе Ленинградской АЭС в 1992 г. // Научный информационно-методический бюллетень. М.: Ядерное общество, 1993, № 3(7)/93, с. 10-22.
8. Зими́на Л.М. Исследование антропогенного эвтрофирования водоема-охладителя Ленинградской АЭС // Автореферат диссертации на соискание учен. степени канд. биол. наук. МГУ, М., 1993, 24 с.
9. Blinova L.D. St. Petersburg (Leningrad) NPP's region radioecological state estimation. // Transactions of International Nuclear Congress. «Atoms for Energy ENC-94». Lyon, October 2-6, 1994, v. II, p. 37-39.
10. Zimina L.M. St. Petersburg (Leningrad) nuclear power plant: nonradioactive environment // Transactions of International Nuclear Congress. «Atoms for Energy ENC-94». Lyon, October 2-6, 1994, v. II., p. 40-42.

11. Блинова Л.Д., Недбаевская Н.А. Ленинградская АЭС: радиоэкологический мониторинг в 1993 г. // Научный информационно-методический бюллетень. М.: Ядерное общество России. 1995, № 2-3/95, с. 24-30.
12. Блинова Л.Д., Недбаевская Н.А., Зими́на Л.М., Виногорова В.Т., Зимин В.Л. Ленинградская АЭС: экологический мониторинг в 1994-1995 гг. // Научный информационно-методический бюллетень. М.: Ядерное общество России, 1997, № 1-2/97, с. 27-38.
13. Blinova L.D., Zimina L.M., Zimin V.L., Vinogorova V.T., Golubeva L.V., Michurina T.G., Zemskova S.V. Ecological evaluation of the area around the Leningrad Nuclear Power Plant in 1996 // Экологическая химия, 1999, т. 8, № 3, с. 204-216.
14. Блинова Л.Д. Радиоэкологический мониторинг атмосферы и гидросферы в районе расположения объектов ядерного комплекса (на примере города Сосновый Бор) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. Обнинск, НПО «Тайфун», 1998, 24 с.
15. Blinova L.D., Dushin V.N., Golubeva L.V., Michurina T.G. Radioecological Monitoring and Radiological Control in the Region of Sosnovy Bor Nuclear Facilities as Baltic Sea Region Safety Basis. - Radiation protection No.110, The radiological exposure of the population of the European Community to radioactivity in the Baltic Sea, EUR 19200, Proceedings of Marina Balt. Seminar. Stockholm, Sweden, 1998, p. 365-372.
16. Blinova L.D., Dushin V.N., Golubeva L.V., Michurina T.G. The development of environmental protection approaches in the region of nuclear facilities at the Russian coast of the Baltic Sea. // Proceedings of the Second Int. Symposium on Ionizing Radiation. Environmental Protection Approaches for Nuclear Facilities. Canada, Ottawa, 1999, section 6, p. 156-163.
17. Блинова Л.Д., Зими́на Л.М., Виногорова В.Т., Зимин В.Л., Голубева Л.В., Мичурина Т.Г., Земско́ва С.В., Щукина Т.Н. Экологический мониторинг в районе расположения ядерного комплекса Сосновый Бор в 1997 году // Экологическая химия, 2000, т. 9, № 1, с. 49-63.
18. Блинова Л.Д., Душин В.Н., Зими́на Л.М. Методологические подходы к защите окружающей среды в районе расположения атомной электрической станции на российском побережье Балтийского моря // Проблемы развития атомной энергетики на Дону. Материалы научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 29 февраля-1 марта, 2000 г., т. 2, с. 69-175.
19. Blinova L.D., Golubeva L.V., Dushin V.N., Michurina T.G. Assessment of regularities of ground-level air contamination by radionuclides at the Russian coast of the Baltic Sea in the course of the Leningrad Nuclear Power Plant multiyear (1983-1999) operation. // Nukleonika, 2001, vol. 46(4), p. 179-182.
20. Блинова Л.Д., Душин В.Н. Оценка радиационного риска на российском побережье Балтики. Рефераты трудов конференции ЯО РФ «Экологическая безопасность, техногенные риски и устойчивое развитие», Москва, 23-27.06.02 г.
21. Блинова Л.Д., Душин В.Н., Зими́на Л.М. Методологические основы многофакторной оценки риска в районах расположения радиационно-опасных объектов // Рефераты трудов конференции ЯО РФ «Экологическая безопасность, техногенные риски и устойчивое развитие», Москва, 23-27 июня 2002 г.
22. Зими́на Л.М., Блинова Л.Д., Зимин В.Л. и др. Экологический мониторинг как основа оценки риска в районах расположения предприятий атомной промышленности // Тезисы докладов. Третий съезд по радиационным исследованиям, 14-17 окт. 1997, Москва, т. 2.

23. Blinova L.D., Dushin V.N., Gubanov V.A., Lazarev L.N., Petrov B.F., Pleskachevsky L.A., Vasiliev S.K., Zimina L.M. Risk and Safety Assessment as the Base for Decision Making // Proceedings of International Conference, Amarillo, 1997.
24. Блинова Л.Д., Душин В.Н., Зими́на Л.М. Опыт оценки риска неблагоприятных экологических последствий при длительной эксплуатации объектов ядерного комплекса // Доклады и выступления 6-ой Всероссийской научно-практической конференции «Управление рисками чрезвычайных ситуаций», 20-21 марта 2001, Москва, с. 221-229.
25. Health Effects Assessments Summary Tables. US EPA. Annual FY-1992. Washington, DC. IAEA (1996). International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series N 115, Vienna. 1992.
26. Procedural Guide for Integrated Health and Environmental Risk Assessment and Safety Management in Large Industrial Areas. Inter-Agency Program on the Assessment and Management of Health and Environmental Risk from Energy and Other Complex Industrial Systems. UNEP, WHO, IAEA, UNIDO, Vienna, 1992.
27. Chanin, D.I. et al. MELCOR Accident Consequence Code System (MACCS) User's Guide, NUREG/CR-4691, SAND86-1562, Vol.1, Sandia Nat. Lab, Albuquerque, NM, February, 1990.
28. Методические указания по расчету радиационной обстановки в окружающей среде и ожидаемого облучения населения при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу. Технический документ МПА-98. Утв. Зам. гл. гос. сан. врача РФ по спецвопросам О.И. Шамовым 10.12.98, М., 1998.
29. Нормативно-технического документа ИнтерАтомЭнерго 38.220.56-84. «Безопасность в атомной энергетике. Общие положения безопасности АЭС. Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения».
30. Европейский союз 1997. Директива 97/11/ЕС от 3 Марта 1997.
31. Основные Стандарты Безопасности, Директива 96/29/EUROATOM.
32. Директива по оценке воздействия на окружающую среду 85/337/ЕЕС.
33. Руководство по Программе мониторинга Балтики (Труды по экологии Балтики №27 - BSEP No.27) - 1988.
34. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации №25 от 10.11.97 и Главного государственного инспектора Российской Федерации по охране природы № 03-19/24-3483 от 10.11.97 г. «Об использовании методологии оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации».
35. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99 М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999, 116 с.
36. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99. СП 2.6.1.799-99, М., Минздрав России, 2000.
37. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций СП АС-99. СП 2.6.1.27-2. М., 2000.
38. Киселев А.В., Савватеева Л.А. Методические рекомендации по оценке риска здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха. СПб.: «Дейта», 1995, 54 с.
39. Управление риском для здоровья в регионе и финансирование природоохранных проектов (на примере Великого Новгорода). Опыт применения методологии анализа риска в России. Центр эколого-экономических исследований, М., 1999.

40. Закон РФ «Об использовании атомной энергии», в редакции от 28.03.2002 г. № 170-ФЗ.
41. Закон РФ «О радиационной безопасности населения» от 09 января 1996 г. № 3-ФЗ.
42. Закон РФ «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. №7-ФЗ.
43. Закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.12.2001 г.
44. Постановление Правительства Российской Федерации «О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий», № 93 от 28 января 1997 г.
45. Гусев Н.Г., Головкин М.Ю., Шаповалов О.И., Хамьянов Л.П., Шмелев В.И., Альтшуллер М.А. Выброс радиоактивных газов и аэрозолей серийными атомными станциями // Атомная энергия. 1993. Т. 74. Вып. 4. С. 360.
46. Письмо ЛАЭС № 17/2185 от 21.04.1999.
47. Zimina L.M., Zimin V.L., Shchukina T., Ryabova V., Pomiluiiko G. Risks for marine coastal ecosystems from anthropogenic loading in the Leningrad NPP environs // Proceedings. The annual conference of the Society for Risk Analysis-Europe. "Risk analysis: opening the process". Paris - France, October, 11-14, 1998.
48. Zimin V.L. Changes in marine fish community under influence of Leningrad nuclear power plant and another human activities in the watershed of Koporskaya bay (Gulf of Finland, Baltic sea) // International Symposium on Marine pollution. Monaco, 5-9 October 1998.
49. Zimina L.M., Zimin V.L., Koplan-Diks V.A. Anthropogenic influence on the watershed of the Koporskaya Bay of the Gulf of Finland (Leningrad nuclear plant area). Proceedings of the International Symposium on Integrated Water Resources Managment 9-12 April, 2000, Davis, USA.

Methodological approaches to environmental risk assessment under nuclear facilities normal operation, comparative risk assessment

L.D. Blinova, V.N. Dushin

The main results of the radiation and ecological monitoring on the Russian coast of the Baltic Sea in the region of the nuclear facilities in Sosnovy Bor city (Leningrad region) are under consideration. The operation of nuclear facilities in this region is completely controlled by a great number of persons and organizations. In order to assess and rank the factors and the sources of technogenic risks, and to justify the decision making, the elaborated methodological approaches to data collection, processing, analysis and utilization in the region of nuclear facilities are analyzed. The results of risk assessment to human health due to environment contamination by radioactive and chemical substances in the region of Sosnovy Bor as a result of nuclear facilities multiyear normal operation are given.