DOI: 10.21870/0131-3878-2016-25-3-86-103

Анализ международных подходов к обеспечению радиационной безопасности населения и окружающей среды при реабилитации объектов и территорий, загрязнённых в результате прошлой деятельности предприятий ядерного топливного цикла

Панов А.В., Санжарова Н.И., Гераськин С.А., Переволоцкая Т.В., Гордиенко Е.В., Микаилова Р.А.

ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии, Обнинск

Представлены подходы к классификации объектов и территорий, загрязнённых радиоактивными веществами в результате прошлой деятельности предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), и существующие проблемы их реабилитации. Показано, что классификация радиоактивно загрязнённых территорий по степени потенциальной опасности является важным этапом для принятия решений о необходимости и целесообразности их реабилитации. Рассмотрены вопросы обеспечения радиационной защиты населения и окружающей среды для различных ситуаций существующего облучения для объектов и территорий, загрязнённых радиоактивными веществами в результате прошлой деятельности предприятий ЯТЦ. Дан обзор нормативных документов Международной комиссии по радиологической защите, определяющих регулирование подходов к радиационной безопасности населения и окружающей среды при реабилитации объектов и территорий, загрязнённых радиоактивными веществами. Показана важность разработки системы критериев по обеспечению радиационной безопасности населения при реабилитации объектов и территорий, загрязнённых радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ЯТЦ. Проанализировано изменение международных подходов к регулированию защиты окружающей среды. Показана актуальность применения эоцентрических принципов и экологического подхода в стратегии обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, объекты, территории, радиационная безопасность, население, окружающая среда, международные подходы, эоцентрические принципы, нормирование, реабилитация.

Введение

В результате функционирования предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ) на территории Российской Федерации образовалось значительное количество объектов и территорий, загрязнённых техногенными и природными радионуклидами [1]. Целью государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности является последовательное снижение до социально приемлемого уровня риска техногенного воздействия на население и окружающую среду при использовании атомной энергии, предупреждение чрезвычайных ситуаций и аварий, а также реабилитация объектов и территорий, загрязнённых в результате прошлой деятельности предприятий ЯТЦ [2].

Общей чертой, объединяющей между собой различные объекты и территории, подвергшиеся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности предприятий ЯТЦ, является радиационное воздействие на население, персонал и биоту. Реабилитация объектов и территорий, загрязнённых радионуклидами в результате прошлой деятельности, направлена на минимизацию радиационного воздействия на население и персонал, а также возможного их хозяйственного использования после проведения реабилитационных работ. Хозяйственное, рекреационное и иное использование, в том числе и проживание в пределах территорий, под-

Панов А.В.* – зам. директора, д.б.н.; **Санжарова Н.И.** – директор, д.б.н., проф., чл.-корр. РАН; **Гераськин С.А.** – зав. лаб., д.б.н., проф.; **Переволоцкая Т.В.** – ст. научн. сотр., к.б.н.; **Гордиенко Е.В.** – мл. научн. сотр.; **Микаилова Р.А.** – мл. научн. сотр. ФГБНУ ВНИИРАЭ.
*Контакты: 249032, Калужская обл., Обнинск, Киевское шоссе, 109-й км. Тел. (48439) 9-69-59; e-mail: riar@mail.ru.

вергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности, должно обеспечивать радиационный риск не выше приемлемого уровня на население непосредственно проживающее, работающее или пользующееся данной территорией.

Классификация радиоактивно загрязнённых объектов и территорий

Загрязнённые объекты и территории могут существенно отличаться по характеристикам радиоактивного загрязнения (пространственное распределение, изотопный состав), конструкционным особенностям объекта, особенностям нахождения радионуклидов (в составе водных растворов, захороненное, на поверхности почвы и т.д.). Классификация (категорирование) объектов, загрязнённых в результате прошлой деятельности, основывается на типе производства и потенциальной опасности. При классификации территорий, загрязнённых в результате прошлой деятельности, необходимо учитывать комплекс факторов: уровни и характер загрязнения; сценарии загрязнения; возможные направления использования после реабилитации и т.п.

Предприятия ЯТЦ могут быть подразделены *согласно основному виду деятельности*: предприятия по добыче и переработке радиоактивных руд, производство ядерного топлива и изделий; предприятия, эксплуатирующие ядерные реакторы: атомные электростанции (АЭС), транспортные реакторные установки, промышленные реакторы, научно-исследовательские реакторные установки и др.; предприятия по хранению отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов; предприятия по радиохимической переработке облучённых материалов и отработанного (облучённого) ядерного топлива; предприятия по эксплуатации и снятию с эксплуатации ядерных установок, реакторов и энергоблоков.

Категория радиационных объектов должна устанавливаться на этапе их проектирования по согласованию с органами государственного надзора в области обеспечения радиационной безопасности. Основные проблемы ранжирования объектов обусловлены отсутствием обоснованных критериев отнесения объекта или территории к той или иной категории. Во главу ранжирования предлагается ставить намерение использования объекта или источника ионизирующего излучения [3]. Подобный подход несколько отличается от предлагаемой Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) системы категоризации [4], которая в целом ориентирована на закрытые радиоактивные источники и предназначена только для аварийного планирования и реагирования, при этом понятие «категория» применяется только на этапе планирования, не охватывая аварийную ситуацию.

В России предложен подход к ранжированию радиационно опасных объектов на 5 уровней воздействия, которые характеризуют потенциальную опасность загрязнения окружающей среды и облучения населения, а также позволяют рассчитать суммарную дозовую нагрузку внешнего и внутреннего облучения в зависимости от пути поступления радионуклидов (табл. 1). Следует отметить, что оценки эти сделаны для аварийных ситуаций на объектах.

Классификация радиоактивно загрязнённых территорий по степени потенциальной опасности является важным этапом для принятия решений о необходимости и целесообразности их реабилитации. Масштабное радиоактивное загрязнение территорий (земель) в большинстве случаев связано с аварийными ситуациями или инцидентами. В зависимости от сценария загрязнения применяются различные критерии для категорирования земель по степени загрязне-

ния. В случае аварий на НПО «Маяк» и Чернобыльской АЭС был применён принцип зонирования территории по плотности загрязнения основными долгоживущими радионуклидами. Так, в регионе аварии на ЧАЭС было выделено 4 зоны по плотности загрязнения ^{137}Cs : 37-185 (1-5), 185-555 (5-15), 555-1480 (15-40) и более 1480 (40) кБк/м^2 (Ки/км^2) [5].

Таблица 1

Характеристика уровней воздействия на окружающую среду радиационно опасных объектов I категории потенциальной опасности [3]

Уровень воздействия	Уровень опасности загрязнения окружающей среды и облучения населения	Суммарная, приведённая к группе Б, активность суммарного сброса/выброса, Бк	Суммарная доза внутреннего и внешнего облучения, мЗв	Риск возникновения отрицательных эффектов	Ориентировочный размер радиус-вектора санитарнозащитной зоны, км
I	Высокий	$>10^{15}$	>140	$>6,0 \cdot 10^{-4}$	>8
II	Повышенный	$10^{13}-10^{15}$	1,4-140	$6,0 \cdot 10^{-4}-6,0 \cdot 10^{-5}$	8,0-2,0
III	Средний	10^8-10^{13}	$1,4 \cdot 10^{-5}-1,4$	$6,0 \cdot 10^{-5}-6,0 \cdot 10^{-11}$	0-2,0
IV	Низкий	10^3-10^8	$1,4 \cdot 10^{-5}-1,5 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-11}-1,4 \cdot 10^{-12}$	0
V	Безопасный	$<10^3$	$<1,5 \cdot 10^{-6}$	$<1,4 \cdot 10^{-12}$	0

Загрязнение территорий в результате прошлой деятельности предприятий ЯТЦ в результате инцидентов или нарушений технологических регламентов, как правило, имеет локальный характер. Например, на Южном Урале часть территории должна быть отнесена к локальному радиоактивному загрязнению. Площадь загрязнения с уровнями более 37 кБк/м^2 по ^{137}Cs составляет 4000 км^2 . Интенсивные сбросы в р. Теча проводились в 1949-1956 гг. Преобладающая доля активности обусловлена технологическими неполадками и регламентированными сбросами среднеактивных отходов. В районе аварии на Сибирском химическом комбинате также можно выделить небольшую территорию, прилегающую к источнику выброса и в части загрязнённой поймы р. Енисей, участки локальных загрязнений, на которых величина годовой эффективной дозы может превысить $0,01 \text{ мЗв/год}$.

В НРБ-99/2009 [6] для локальных участков радиоактивного загрязнения критериями категоризации является величина годовой эффективной дозы, в зависимости от которой устанавливается либо уровень исследования (от $0,01$ до $0,3 \text{ мЗв/год}$), либо уровень вмешательства ($> 0,3 \text{ мЗв/год}$). На практике применение критериев вмешательства, которые даны в виде дозовых пределов, связано с определёнными трудностями, т.к. локальные участки радиоактивного загрязнения характеризуются разнообразием условий поступления радионуклидов в окружающую среду [7-10].

Решение о хозяйственном использовании территорий, подвергшихся радиоактивному или химическому загрязнению, зависит от различных факторов, таких как вид землепользования, площадь загрязнённого участка, степень, характер загрязнения и др. [11]. В зависимости от характера и условий загрязнений, перспектив использования, все территории разделяют на три категории: территории, которые подлежат консервации; территории, используемые по целевому назначению с установлением особых условий и режима; территории, используемые по целевому назначению без установления особых условий и режима, если экологические показатели не превышают нормативов.

Однако в практической деятельности выполнять мероприятия в соответствии с данным Постановлением достаточно сложно из-за отсутствия конкретных методических рекомендаций

по категорированию земель, подвергшихся загрязнению, и чётких критериев прекращения реабилитации и экономически обоснованных затрат на проведение таких работ.

Содержание техногенных радионуклидов в почве действующими санитарно-законодательными документами не нормируется. В связи с этим при реабилитации (дезактивации) территорий необходимо установить производные радиозэкологические нормативы и внедрить критерии допустимой остаточной удельной активности для техногенных и эффективной удельной активности для природных радионуклидов, тяжёлых металлов и других токсичных соединений в поверхностных и грунтовых водах, остаточной активности грунта, донных отложениях, мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, β -потоков и других показателей в зависимости от категории территории. В работах [12-14] предложены основные критерии и рассмотрены подходы к разработке допустимых уровней контроля остаточной удельной активности для всех радионуклидов и допустимых уровней содержания токсикантов в различных объектах контроля.

Обоснование системы критериев обеспечения радиационной безопасности для населения и окружающей среды при реабилитации объектов и территорий, загрязнённых радионуклидами в результате прошлой деятельности предприятий ЯТЦ, должно основываться на рекомендациях международных компетентных организаций и накопленного передового опыта отечественных и зарубежных специалистов.

При установлении пределов безопасного воздействия вредных факторов как в международной, так и в отечественной практике преобладает санитарно-гигиенический подход, нацеленный на охрану здоровья человека. В силу специфики действия радиационного фактора и повышенного внимания к опасности ионизирующего излучения (ИИ) для человека, методические подходы к нормированию радиационного воздействия имеют свои особенности. Однако общей остаётся практика использования санитарно-гигиенических требований для ограничения поступления радиоактивных веществ в организм человека и воздействия ИИ до пределов, не представляющих опасности для его здоровья, которая осуществляется путём введения санитарных правил, норм, гигиенических нормативов и стандартов.

Международные рекомендации по обеспечению радиационной защиты населения

Формирование современной международной системы радиационной (радиологической) защиты (СРЗ) следует отнести к середине 50-х годов прошлого века. К этому времени были образованы специализированные организации: Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ), Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) ООН, Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и другие.

Созданная система специализированных международных организаций обеспечила устойчивое развитие международной СРЗ, включая актуализацию основных принципов и концепций (МКРЗ). За прошедшие годы поле деятельности МКРЗ охватило все аспекты радиационной защиты человека. Первые рекомендации МКРЗ были опубликованы МКРЗ в 1959 г. Проводя последовательную политику в области радиационной защиты, МКРЗ осуществляет пересмотр основных рекомендаций через 13-20 лет с учётом новых достижений радиационной биологии, медицины, эпидемиологии, физики защиты и дозиметрии, а также меняющихся потребностей общества.

Основные подходы МКРЗ к обеспечению радиационной защиты населения изложены в ряде документов: Публикация 60 (1991 г.): Рекомендации МКРЗ 1990 г.; Публикация 63 (1993 г.): Принципы вмешательства для защиты населения при радиационной аварии; Публикация 82 (2000 г.): Защита населения в ситуации хронического облучения; Публикация 101 (2006 г.): Оценка дозы у представительного лица для целей радиационной защиты населения и Оптимизация радиационной защиты: расширение процесса; Публикация 103 (2007 г.): Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите.

В Публикации 60 были установлены значения годовых дозовых пределов для населения 1 мЗв, а персонала – 20 мЗв. Важным положением в данных рекомендациях стало разделение видов деятельности с источниками излучения на практическую деятельность (*practice*) и вмешательство (*intervention*). Было отмечено, что вмешательство в случае хронического облучения населения (радон в домах, пост-чернобыльская ситуация и др.) должно быть оправдано и оптимизировано, при этом общих решений данного вопроса выработано не было. Поводом для создания двух независимых подсистем радиационной защиты стала чернобыльская авария, которая остро поставила вопрос обоснования мер радиационной защиты населения.

В Публикации 82 в качестве основного показателя рассматривается «существующая доза» от всех источников ионизирующего излучения в окружающей среде, включая фоновое облучение. Был выделен обобщённый «контрольный уровень» существующей годовой дозы, равный 10 мЗв. Этот показатель у критической группы населения равен 10 мЗв/год и складывается из 3-5 мЗв/год фонового облучения и 5-7 мЗв/год от «загрязнителя». Для доминирующих компонентов дозы облучения применим обобщённый «контрольный уровень» 1 мЗв/год. В Публикации также указывается, что вмешательство при существующей годовой дозе от всех источников в 10 мЗв/год в ситуациях продолжительного облучения вряд ли является оправданным.

В Публикации 101 понятие критической группы для оценки дозы у населения заменено понятием «представительного лица» с характеристиками 95% квантиля дозовых показателей. Предполагаемые объекты воздействия должны быть чётко определены и характеризованы. Обычно предполагается, что облучаемое лицо находится в месте, доступном для потенциального загрязнения радионуклидами непосредственно вблизи объекта воздействия, что может привести к наиболее серьёзному радиологическому воздействию. «Представительное» лицо также может проживать на некотором расстоянии от объекта, если потенциальное радиационное воздействие, может быть вызвано загрязнением водных ресурсов, облучением за счёт переноса радона или ингаляционным поступлением загрязнённой пыли. В Публикации 101 содержатся рекомендации относительно трёх возрастных категорий, которые должны рассматриваться для оценки годовой дозы облучения представительного лица.

В Публикации 101 также смещены акценты от оптимизации по принципу ALARA «стоимость – выгода» к более широкому рассмотрению социальных факторов с участием заинтересованных сторон. Фактически в этих рекомендациях предлагается отмена анализа «стоимость – выгода» в денежном исчислении.

Главная цель новых Рекомендаций МКРЗ [15] направлена на более осознанное применение системы радиационной безопасности, обеспечивающей соответствующий уровень защиты

людей и окружающей среды от всего многообразия имеющихся ситуаций облучения. Комиссия признает, что существует три типа ситуаций облучения, которые заменяют собой введенные ранее категории «практики» и «вмешательства»:

- *Ситуации планируемого облучения*, когда пуск и эксплуатация источников излучения были заранее спланированы.

- *Ситуации аварийного облучения*, когда облучение носит непредвиденный характер, например, когда непредвиденное облучение происходит при плановой работе или в результате злонамеренных действий, требующих немедленного реагирования.

- *Ситуации существующего облучения* – это ситуация облучения, которое уже существовало на момент введения его контроля. Эта ситуация включает длительное облучение вследствие:

- повышенного радиационного фона, в т.ч. радона в помещениях;
- облучения от радиоактивных материалов природного происхождения (NORM);
- остаточной активности в окружающей среде в результате производственной деятельности с радиоактивными веществами (в т.ч. производство и испытание ядерного оружия, МЯВ и др.);
- радиоактивного загрязнения, которое возникло в результате аварий и инцидентов.

В Публикации 103 сохранены три ключевых принципа радиационной защиты: *Принцип обоснования*, *Принцип оптимизации защиты*, *Принцип применения пределов дозы*. Комиссия сохраняет различия между тремя категориями облучения: профессиональное облучение, облучение населения и медицинское облучение пациентов (а также лиц, обеспечивающих комфорт пациентов и уход за ними, и добровольцев, участвующих в исследовательских работах) и оставляет в силе рекомендацию, что для целей регулирования не следует суммировать облучение одного и того же индивидуума для различных категорий облучения.

Также МКРЗ в целях защиты населения рекомендует пользоваться понятием «репрезентативное лицо», которое может иметь гипотетический характер, однако важно, чтобы характеристики и образ его жизни являлись типичными для небольшого числа лиц, с наиболее высокими дозами облучения.

Необходимым этапом в применении принципа оптимизации защиты является выбор соответствующего значения *граничной дозы* или *референтного уровня*. При этом сначала необходимо охарактеризовать ситуацию облучения в отношении его происхождения, приносимой им пользы индивидуумам и обществу, другие социальные критерии, а также практическую достижимость снижения или предотвращения облучения.

Конкретное значение *граничного* или *референтного уровня* может быть впоследствии установлено в процессе общей оптимизации, интегрально учитывающей национальные и региональные особенности и приоритеты, принимая во внимание, насколько это возможно, международные рекомендации и опыт «хорошей практики». Комиссия указывает, что *граничные дозы* и *контрольные уровни* могут быть признаны ключевыми инструментами в процессе оптимизации, который всегда направлен на достижение наилучшего уровня защиты в преобладающих обстоятельствах (табл. 2).

Таблица 2

Граничные дозы и референтные уровни, используемые в системе радиационной защиты Комиссии [15]

Тип ситуации	Профессиональное облучение	Облучение населения	Медицинское облучение
Планируемое облучение	Предел дозы Граничная доза	Предел дозы Граничная доза	Диагностический Референтный уровень ^d (Граничная доза ^e)
Аварийное облучение	Референтный уровень ^a	Референтный уровень	Н.П. ^b
Существующее облучение	Н.П. ^c	Референтный уровень	Н.П. ^b

^a Долгосрочные работы по ликвидации последствий аварии следует рассматривать, как часть планируемого профессионального облучения.

^b Не применимо.

^c Облучение вследствие длительных восстановительных/реабилитационных работ или долговременной занятости на загрязнённой территории следует рассматривать, как часть планируемого профессионального облучения, даже если источник излучения является «существующим».

^d Пациенты.

^e Только лица, обеспечивающие комфорт и уход за пациентами, и добровольцы, участвующие в исследовательских работах.

МКРЗ выделяет три диапазона доз:

- до 1 мЗв устанавливает диапазон доз в условиях планируемого облучения населения, не имеющего конкретной выгоды, но имеется польза для общества;

- свыше 1 мЗв, но не более 20 мЗв относятся к ситуациям, когда отдельные лица или общество получают прямую выгоду от ситуации облучения и имеется учёт индивидуальных доз облучения, их мониторинг или оценка;

- свыше 20 мЗв, но не более 100 мЗв – диапазон применяется в экстремальных ситуациях. Комиссия указывает, что уровни облучения ниже 50 мЗв могут быть установлены и в этом диапазоне в обстоятельствах, когда польза гораздо выше ущерба облучения.

При дозах свыше 100 мЗв повышается вероятность повреждений тканей и риска стохастических эффектов. МКРЗ полагает, что максимальная величина референтного уровня равна 100 мЗв при остром облучении или при облучении в течение одного года. Дозы свыше 100 мЗв при остром облучении или при облучении в течение одного года будут обоснованными только при чрезвычайных обстоятельствах.

Сравнение критериев радиационной защиты показывает, что новые Рекомендации в основном аналогичны данным Публикации 60 в отношении планируемого облучения. Для аварийного и существующего облучения современные Рекомендации в основном соответствуют прежним количественным величинам, но имеют более широкий диапазон применимости. В некоторых случаях используются различные термины. Для ситуации аварийного облучения [16] используется предотвращённая доза (уровень вмешательства), а в Публикации 103 – добавленная доза (референтные уровни).

В соответствии с современным ситуационным подходом объекты и территории, загрязнённые радиоактивными веществами в результате прошлой деятельности предприятий ядерной и неядерной отраслей промышленности, относятся к ситуации существующего облучения. Ситуация существующего облучения разнообразна по сценариям её формирования, кроме того при этом возможно несколько путей облучения. МКРЗ рекомендует, чтобы референтные уровни, установленные по индивидуальной дозе, использовались в сочетании с внедрением прин-

ципа оптимизации. Референтные уровни лежат обычно в диапазоне доз от 1 мЗв до 20 мЗв (табл. 3). Главными факторами, которые учитываются при установлении референтного уровня, являются доступность контроля и опыт работы в таких ситуациях. В тех случаях, когда индивидуальное поведение является ключевым фактором, влияющим на формирование дозы облучения, необходимо оценивать индивидуальные дозы. Проживание на территории после аварии или радиационного инцидента является типичным примером такой ситуации.

Таблица 3

Сравнение критериев защиты для ситуации существующего облучения [15]

Категории облучения	Рекомендации 1990 г. и последующие публикации	Действующие рекомендации
Ситуация существующего облучения Радон - в жилых помещениях - прочие неотложные спасательные операции - в рабочих помещениях	Уровни действия^а 3-10 мЗв/год (200-600 Бк/м ³) ~500 мЗв/год; ~5 Зв (кожа) ^д 3-10 мЗв/год (500-1500 Бк/м ³) Обобщённые референтные уровни^с	Референтные уровни^{а,б} <10 мЗв/год (<600 Бк/м ³) <100 мЗв <10 мЗв/год (<1500 Бк/м ³) Референтные уровни^{б,е}
NORM, естественный фон, остаточная радиоактивность В среде обитания человека Вмешательства: - малообоснованны - могут быть обоснованы - почти всегда обоснованы	<~ 10 мЗв/год >~ 10 мЗв/год до 100 мЗв/год	от 1 до 20 мЗв/год В зависимости от ситуации Значения референтного уровня зависят от обстоятельств, ситуации облучения. Референтный уровень используется дополнительно для ретроспективной оценки вариантов обеспечения защиты.

^a Эффективная доза, если не указано другое.

б При условии, что эффективная доза не превысит 50 мЗв за любой год из этих пяти лет. Дополнительные ограничения накладываются на профессиональное облучение беременных женщин. При применении в случае поступления радионуклидов, дозовая величина – это ожидаемая эффективная доза.

^c Публикация 103 (Разделы 5.9 и 6.2).

^d Публикация 60 (ICRP, 1991).

^е Референтные уровни установлены по остаточной дозе и предназначены для оценки стратегии защиты в целом.

Международные рекомендации по обеспечению радиационной защиты биоты

Принципиальное различие систем радиационной защиты человека и природы состоит в том, что первая направлена на защиту каждого индивидуума, в то время как целью второй является сохранение биоразнообразия, структуры и функций экосистем. В настоящее время в стратегии защиты окружающей среды официально признанным является антропоцентрический подход, в соответствии с которым, если защищён человек, то защищена и природа [17].

Аргументация сторонников антропоцентрического подхода основана на нескольких базовых принципах [18, 19]. Во-первых, человек является одним из наименее радиоустойчивых видов в биосфере; по радиорезистентности к нему близки млекопитающие, являющиеся важным компонентом многих экосистем. Радиоустойчивость большинства животных выше, чем человека, в несколько раз, многих растений – в 10 и более раз, низших организмов – в тысячи раз [20].

Поэтому можно утверждать, что соблюдение норм радиационной безопасности для человека обеспечит также безопасность большинства видов биоты. Во-вторых, радиационными регламентами допустимого облучения человека предусмотрены достаточно большие коэффициенты запаса. Так, основной предел дозы облучения населения (1 мЗв/год) [6] в десятки раз жёстче по сравнению с дозами, при которых наблюдаются негативные эффекты для здоровья человека [21], имеющего один из наиболее высоких социальных приоритетов.

Антропоцентрический подход сыграл положительную роль в формировании политики обеспечения радиационной безопасности природы и вошёл в законодательные базы и документы многих стран, гарантируя защиту окружающей среды при развитии ядерной энергетики.

Со времени выхода в свет Публикации 26 МКРЗ [17] опубликовано немало результатов исследований, в которых антропоцентрический принцип обеспечения радиационной безопасности окружающей среды ставится под сомнение. Антропоцентрический подход не учитывает, что в одной и той же радиэкологической ситуации дозы облучения человека и некоторых видов биоты могут отличаться весьма существенно (неэквидозность воздействия) [18, 19, 22]. В частности указывается, что существуют ситуации, когда в окружающей среде человек отсутствует, а растения и животные подвергаются воздействию ИИ (например, в местах захоронения радиоактивных отходов в глубинах Мирового океана и геологических формациях). При этом повышенному риску могут подвергаться виды, которые, как и человек, располагаются на верхней ступени экологических пирамид. На территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения (головная часть Восточно-Уральского радиоактивного следа, 30-км зона ЧАЭС, 20-км зона вокруг АЭС «Фукусима-Дайичи») превышение допустимых уровней облучения человека предотвращают с помощью специально разработанных мероприятий, но биота подвергается радиационному воздействию без ограничений. Наиболее заметно различия в дозах облучения человека и других видов проявляются в условиях радиационных аварий и на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности предприятий ядерного цикла. Так, сформировавшиеся в условиях аварии на Южном Урале дозы облучения некоторых животных и растений на единицу плотности радиоактивного загрязнения превышали дозу на человека в 10-300 раз [23]. Существуют и другие примеры существенного различия дозовых нагрузок на человека и представителей биоты, находившихся в одной и той же радиэкологической ситуации в одно и то же время [24, 25]. Особенно значительны различия между поглощёнными человеком и некоторыми видами биоты (почвенная мезофауна, мышевидные грызуны, корневые системы растений) дозами в условиях высоких уровней загрязнения α -излучающими радионуклидами [26, 27]. С учётом близкой радиочувствительности человека и ряда эдификаторных, определяющих функционирование и устойчивость экосистем видов (хвойные древесные породы, многие млекопитающие), становится понятным, что такое соотношение поглощённых человеком и другими объектами живой природы доз требует особого внимания к радиационной защите растений, животных и их сообществ.

По мнению многих авторов необходима смена парадигмы – отказ от санитарно-гигиенического подхода к обеспечению радиационной безопасности окружающей среды и переход к экологическим, а не антропоцентрическим принципам регламентирования воздействия ионизирующей радиации.

В Публикации 103 [15] впервые появился раздел «Радиационная защита окружающей среды». В кратком предисловии отмечено, что, несмотря на отсутствие в сегодняшних условиях каких-либо особых оснований для беспокойства о последствиях действия ионизирующих излу-

чений на окружающую среду, существует потребность в рекомендациях по регулированию воздействия радиации на биоту. Комиссия отмечает, что в настоящее время на международном уровне отсутствует единая консолидированная позиция по отношению к уровням содержания радиоактивных веществ в окружающей среде.

Стремясь сохранить преемственность в своей политике, Комиссия продолжает придерживаться принятого антропоцентрического подхода, однако уточняется, он справедлив «когда непосредственно радиационная безопасность человека может оказаться под угрозой, в первую очередь, при поступлении радионуклидов в окружающую среду в штатном режиме».

В Публикации 103 в систему радиационной защиты человека введено понятие «существующее облучение», являющееся следствием, в том числе, природного радиационного фона либо работ, проводившихся в прошлом (ядерное наследие). Впервые Комиссия подчеркивает, что необходимо рассмотреть разные ситуации воздействия на природную среду, независимо от присутствия в них человека.

Разные аспекты методологии экологического нормирования радиационного воздействия на биоту в настоящее время активно развиваются [28-32]. Для обеспечения научной базы радиационной защиты окружающей среды во всех ситуациях облучения МКРЗ была выдвинута концепция референтных видов. В системе радиационной защиты биоты набору референтных организмов отводится та же роль, что и «референтному человеку» в системе радиационной защиты человека. МКРЗ предложен набор из 12 таких видов, типичных для разных критических экосистем [33] (табл. 4).

Таблица 4

Уровни облучения биоты, рекомендуемые для ограничения радиационного воздействия [34-36]

Первоисточник	Безопасные уровни облучения биоты, мкГр/час							
	NCRP, 1991	IAEA, 1992	UNSCEAR, 1996	CEPA, 1999	US DOE, 2002	ERICA, 2003	UNSCEAR, 2008	ICRP, 2009
НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ								
Растения		400	400		400	10	100	
<i>Сосна</i>								4-40
<i>Злак</i>								40-400
Животные		40	40		40	10	100	
Беспозвоночные				200				
<i>Пчела</i>								400-4000
<i>Дождевой червь</i>								400-4000
<i>Утка</i>				100				4-40
Млекопитающие				100				
<i>Олень</i>								4-40
<i>Крыса</i>								4-40
ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ								
Пресноводные	400	400	400		400	10		
Водоросль				100				
Макрофиты				100				
Бентосные				200				
беспозвоночные								
<i>Лягушка</i>								4-40
Рыба				20				
<i>Форель</i>								40-400
Морские	400		400			10	400	
<i>Краб</i>								400-4000
<i>Камбала</i>								40-400
<i>Бурья водоросль</i>		1000				10	400	40-400

Курсивом отмечены референтные виды, рекомендованные [33].

Предложенный МКРЗ набор референтных организмов является дискуссионным. С одной стороны, он отвечает основным требованиям к референтным животным и растениям, сформулированным МКРЗ, с другой – его применение в конкретных радиоэкологических условиях не всегда в полной мере отражает особенности функционирования природных экосистем. Например, в наземных экосистемах в качестве природного депо радионуклидов выступает почва. Поэтому среди наземных видов биоты в число референтных организмов следовало бы в первую очередь относить обитателей верхних горизонтов почвы – мышевидных грызунов и почвенную мезофауну, а не только дождевого червя.

Несколько отличающиеся наборы референтных видов были предложены другими исследовательскими группами и организациями. Так, в рамках международного проекта Европейской Комиссии ERICA [37] были разделены водные и наземные экосистемы и разработан детальный перечень потенциальных референтных видов.

Рядом международных (МКРЗ, МАГАТЭ, НКДАР ООН) и национальных организаций были предложены носящие рекомендательный характер пределы допустимого облучения живых организмов (табл. 4). Сопоставление этих пределов затруднительно, так как при их установлении были использованы разные подходы и принципы. Например, рекомендованный в рамках проекта Европейской комиссии ERICA предел 10 мГр/час (87,6 мГр/год) [37] предназначен для защиты всех групп организмов, составляющих обобщённую наземную экосистему, в то время как Комиссия по ядерной безопасности Канады [38] подходит к установлению безопасных пределов более дифференцированно, например, разделяя пресноводные водоросли и макрофитов. В более поздних документах при обосновании подходов к радиационной защите биоты подчеркивается популяционный и экосистемный подход [32, 39]. С другой стороны, рекомендации МАГАТЭ и НКДАР ООН [40, 41] в основном ориентированы на наиболее радиочувствительные организмы, в качестве которых рассматриваются в первую очередь млекопитающие. Тем не менее, анализируя рекомендованные пределы можно сделать общий вывод, что минимальные допустимые уровни хронического облучения биоты, предложенные разными организациями, сопоставимы – от 4 до 40 мГр/час (0,04-0,4 Гр/год), и превышают допустимое дозовое воздействие на человека (1 мЗв/год) в 40-400 раз.

Заключение

В российском законодательстве требования регламентирования радиационного качества окружающей среды содержатся в положениях федерального закона «Об охране окружающей среды» [42]. Однако в настоящее время в РФ (впрочем, как и в большинстве стран мира) чётко сформулированная законодательная, методическая и нормативная база в отношении радиационной защиты биоты отсутствует. Например, не установлены подходы, в соответствии с которыми следует определять критерии допустимого содержания радиоактивных веществ в компонентах природной среды и допустимого воздействия на них. В отечественной практике применяется антропоцентрический принцип: «защищён человек – защищена окружающая среда», хотя он не закреплён в законодательстве РФ в явном виде.

Усиление экоцентрических принципов встречает понимание в самых широких кругах. Однако специалистами подчеркивается, что изменение или корректировка существующей концепции радиационной защиты и её практических приложений потребует решения многих научных и научно-практических задач [22]: разработки вопросов экологической дозиметрии, выбора референтных видов биоты, определения критериев радиационной защиты флоры и фауны, установления зависимостей «доза-эффект» для разных уровней организации живой материи и обоснования дозовых пределов облучения биоты.

Всё более широкое признание находит также принцип поддержания устойчивого развития биосферы, сформулированный в Декларации об охране окружающей среды [43], который подразумевает сохранение основных параметров стабильного развития природных и искусственных экосистем в условиях техногенеза. При экологическом подходе в систему радиационной безопасности включается и человек как неотъемлемый элемент биосферы.

В условиях возрождения интереса к ядерной энергетике как к безальтернативному источнику энергии для будущего человечества, а также в свете возрастающей озабоченности общественности проблемами загрязнения окружающей среды и изменения климата на Земле, внедрение экологических нормативов в практику радиационной защиты биоты является одним из актуальных вопросов.

Литература

1. Ликвидация ядерного наследия: 2008-2015 годы /Под общей ред. А.А. Абрамова, О.В. Крюкова, И.И. Линге. М., 2015. 182 с.
2. Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации на период до 2015 года (утв. Приказом Президента РФ 1 марта 2012 г., № Пр-539).
3. **Захарова Е.В., Козырев А.С., Зубков А.А., Аверьянов Б.Ю.** Создание внешних барьеров безопасности как способ предотвращения миграции радионуклидов из хранилищ РАО //Ядерная и радиационная безопасность России: тематический сборник. М., 2012. Вып.13. С. 133-157.
4. Категоризация радиоактивных источников: Серия норм МАГАТЭ по безопасности №RS-G-1.9. Вена: МАГАТЭ, 2005.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 декабря 1992 г. (№ 1008) «О режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению после катастрофы на Чернобыльской АЭС».
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) СП 2.6.1. 2523-09. М.: Минздрав России, 2009. 225 с.
7. **Никипелов Б.В., Романов Г.Н., Бурлаков Л.А., Бабаев Н.С., Холина Ю.Б., Микерин Е.И.** Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г. //Атомная энергия. 1989. Т. 67, Вып. 2. С. 74-80.
8. **Израэль Ю.А., Артемов Е.М., Назаров И.М.** Радиоактивное загрязнение местности в результате аварии на радиохимическом заводе в Томске-7 //Метеорология и гидрология. 1993. № 6. С. 5-8.
9. **Носов А.В., Ашанин М.В., Иванов А.Б., Мартынова А.М.** Радиоактивное загрязнение р. Енисей, обусловленное сбросами Красноярского горно-химического комбината //Атомная энергия. 1993. Т. 74, Вып. 2. С. 144.
10. **Лысцов В.Н., Иванов А.Б., Колышкин А.Е.** Радиологические аспекты аварии в Томске-7 //Атомная энергия. 1995. Т. 74, Вып. 4. С. 364.
11. Постановление Правительства РФ от 27.02.2004 (№ 112) «Об использовании земель, подвергшихся радиоактивному и химическому загрязнению, проведении на них мелиоративных и культуртехнических работ, установлении охранных зон и сохранении находящихся на этих землях объектов».
12. **Кириллов В.Ф., Коренков И.П., Крюков В.В., Лашенова Т.Н., Сафронов В.Г., Сотсков В.Т.** О гигиенических критериях допустимой остаточной активности радионуклидов после дезактивации //Гигиена и санитария. 2005. № 3. С. 38-42.
13. **Коренков И.П., Лашенова Т.Н., Веселов Е.И., Шандала Н.К., Максимова О.А.** Радиоэкологические подходы к ранжированию радиационно опасных объектов //Гигиена и санитария. 2011. № 4. С. 6-20.
14. **Пожидаев А.С., Лашенова Т.Н., Николаевский В.Б.** Основные критерии реабилитации локальных участков загрязнений //Третья конференция молодых специалистов «Обращение с радиоактивными отходами. Проблемы и решения». РАДУГА-2010: Тез. докл. Сергиев Посад, 9-10 февраля 2010. С. 100-105.
15. ICRP 2007. Publication 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection //Ann. ICRP. 2007. V. 37 (2-4). P. 1-332.
16. ICRP 1991. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection //Ann. ICRP. 1991. V. 21. P. 1-201.
17. ICRP 1977. Publication 26. The 1977 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection //Ann. ICRP. 1977. V. 1. P. 1-53.
18. **Алексахин Р.М., Фесенко С.В.** Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы //Радиац. биология. Радиоэкология. 2004. Т. 44, № 1. С. 93-103.
19. **Казakov С.В., Уткин С.С.** Подходы и принципы радиационной защиты водных объектов /Под ред. И.И. Линге. М.: Наука, 2008. 318 с.
20. **Сарапульцев Б.И., Гераськин С.А.** Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат, 1993. 208 с.

21. **Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А.** Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа, 2004. 549 с.
22. **Казаков С.В., Линге И.И.** О гигиеническом и экологическом подходах в радиационной защите //Радиац. биология. Радиоэкология. 2004. Т. 44, № 4. С. 482-492.
23. **Крышев И.И., Рязанцев Е.П.** Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. М.: ИздАТ, 2010. 496 с.
24. **Романов Г.Н., Спирин Д.А.** Воздействие ионизирующих излучений на живую природу при уровнях, предусмотренных современными нормами радиационной безопасности //Доклады Академии наук СССР. 1991. Т. 318. С. 248-251.
25. **Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Geras'kin S.A., Sanzharova N.I., Spirin Y.V., Spiridonov S.I., Gontarenko I.A., Strand P.** Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant //J. Environ. Radioact. 2005. V. 80. P. 1-25.
26. **Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М. Василенко И.Я., Дричко В.Ф., Иванов Ю.А., Маслов В.И., Маслова К.И., Никифоров В.С., Поликарпов Г.Г., Попова О.Н., Сироткин А.Н., Таскаев А.И., Тестов Б.В., Титаева Н.А., Февралева Л.Т.** Тяжёлые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы //Под ред. Р.М. Алексахина. М.: Наука, 1990. 367 с.
27. **Спирин Е.В., Алексахин Р.М., Панченко С.В.** Оценка радиоэкологической безопасности уранового месторождения для биоты //Атомная энергия. 2013. Т. 115, № 5. С. 279-284.
28. **Larsson C.-M.** The FASSET Framework for assessment of environmental impact of ionizing radiation in European ecosystems – an overview //J. Radiol. Prot. 2004. V. 24. P. A1-A12.
29. **Howard B.J., Larsson C.-M.** The ERICA Integrated Approach and its contribution to protection of the environment from ionising radiation //J. Environ. Radioact. 2008. V. 99. P. 1361-1363.
30. **Howard B.J., Beresford N.A., Andersson P., Brown, J.E., Copplestone D., Beaugelin-Seiller K., Garnier-Laplace J., Howe P. Oughton D., Whitehouse P.** Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context – an overview of the PROTECT coordinated action project //J. Radiol. Prot. 2010. V. 30 (2). P. 195-214.
31. **Copplestone D., Beresford N., Howard B.** Protection of the environment from ionising radiation: developing criteria and evaluating approaches for use in regulation //J. Radiol. Prot. 2010. V. 30. P. 191-194.
32. **Brechignac F., Bradshaw C., Carroll S., Fuma S., Hakanson L., Jaworska A., Kapustka L., Monte L., Oughton D., Sazykina T., Strand P.** Towards an ecosystem approach for environmental protection with emphasis on radiological hazards. International Union of Radioecology, 2012. 82 p.
33. ICRP 2009. Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants //Ann. ICRP. 2009. V. 38 (4-6). P. 1-242.
34. **Andersson P., Beaugelin-Seiller K., Beresford N.A. Copplestone D., Della Vedova C., Garnier-Laplace J., Howard B.J., Howe P., Oughton D.H., Wells C., Whitehouse P.** Deliverable 5: Numerical Benchmarks for Protecting Biota from Radiation in the Environment: Proposed Levels, Underlying Reasoning and Recommendations. Report for the PROTECT Project. EC Contract Number: 036425 (FI6R). Centre for Ecology & Hydrology-Lancaster, Lancaster, 2008.
35. US DOE. United States Department of Energy. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. Washington DC, 2002.
36. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. New York: United Nations, 2011.
37. The ERICA project. Special Issue //J. Environ. Radioact. 2008. V. 99. P. 1361-1518.
38. CEPA. Canadian Environmental Protection Act. Priority substances list assessments report. Releases of radionuclides from nuclear facilities (impact on non-human biota). Environment Canada, 1999. 130 p.
39. **Bradshaw C., Kapustka L., Barnhouse L., Brown J., Coffroy P., Forbes V., Geras'kin S., Kautsky U., Brechignac F.** Using an ecosystem approach to complement protection schemes based on organism-level endpoints //J. Environ. Radioact. 2014. V. 136. P. 98-104.

40. IAEA 1992. Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Report Series № 332. Vienna: IAEA, 1992.
41. UNSCEAR 1996. Effects of ionizing radiation on the environment. Annex to Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. New York: United Nations, 1996. 86 p.
42. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Российская газета. 12 января 2002 г. № 6 (2874).
43. Declaration of the Conference on the Human Environment /United Nations Conference on the Human Environment. Stockholm. 5-16 June, 1972.

Survey of international approaches to ensuring radiation safety of the public and environment during remediation of radioactively contaminated sites of former nuclear fuel cycle facilities

Panov A.V., Sanzharova N.I., Geraskin S.A., Perevolotskaya T.V., Gordienko E.V., Mikailova R.A.

All-Russian Scientific Research Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk

Authors review principles of classification of nuclear facilities retired from operation and radioactively contaminated territories by a degree of their potential danger to the public and environment, as well as challenges related to safe decommissioning of the facilities and remediation of radioactively contaminated sites. Classification of the sites according to their potential danger is a major step in making decision on expediency of remedial measures. Problems of public and environmental radiation protection in various scenarios of existing exposure to radiation in the vicinity of former nuclear and industrial sites are considered. Authors review regulatory documents of the International Commission on Radiological Protection determining approaches to ensuring public safety during remediation of radioactively contaminated sites. It is stressed that development of criteria for public safety during remediation of former nuclear facilities and industrial sites is very important. Authors review changes in international approaches to environmental protection and management. Authors conclude that it is essential to use ecocentric approaches to ensure radiation safety of a human and environment.

Keywords: *radioactive contamination, nuclear facilities, territories, radiation safety, population, environment, international approaches, ecocentric principles, rationing, rehabilitation.*

References

1. Likvidacija jaderного nasledija: 2008-2015 gody [Elimination of Nuclear Legacy: 2008-2015]. Eds.: A.A. Abramov, O.V. Kryukov, I.I. Linge. Mocsow, 2015. 182 p.
2. Osnovy gosudarstvennoj politiki v oblasti obespechenija jadernoј i radiacionnoj bezopasnosti v Rossijskoј Federacii na period do 2015 goda [Fundamentals of the state policy in the field of nuclear and radiation safety in the Russian Federation for the period up to 2015] (approved by the Order of the President of the Russian Federation on the 1st of March, 2012, No. Pr-539).
3. **Zakharova E. V., Kozyrev A.S., Zubkov A.A., Averyanov B.Yu.** Sozdanie vneshnih bar'erov bezopasnosti kak sposob predotvrashhenija migracii radionuklidov iz hranilishh RAO [Establishment of external safety barriers as a way to prevent the migration of radionuclides from radioactive waste repositories]. Subject collection "Nuclear and Radiation Safety of Russia". Moscow, 2012. No. 13, pp. 133-157.

Panov A.V.* – Deputy Director, D.Sc., Biol.; **Sanzharova N.I.** – Director, D.Sc., Biol., Prof., Corresponding Member of RAS; **Geraskin S.A.** – Head of Lab., D.Sc., Biol., Prof.; **Perevolotskaya T.V.** – Senior Researcher, C. Sc., Biol.; **Gordienko E.V.** – Research Assistant; **Mikailova R.A.** – Research Assistant. RIARAE.

*Contacts: Kievskoe Sh., 109 km, Obninsk, Kaluga region, Russia, 249032. Tel.: (48439) 9-69-59; e-mail: riar@mail.ru.

4. Kategorizacija radioaktivnyh istochnikov [Categorization of radioactive sources] (IAEA safety standards series, no. RS-G-1.9) Vienna, International Atomic Energy Agency, 2005.
5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25 dekabrja 1992 g. (№1008) «O rezhime territorij, podverghshihsja radioaktivnomu zagrizneniju posle katastrofy na Chernobyl'skoj AJeS» [Russian Federation Government Resolution dated December 25, 1992 (№ 1008) "About regime of the territories exposed to radioactive contamination after the Chernobyl disaster"].
6. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009) SP 2.6.1. 2523-09 [Radiation Safety Standards (NRB-99/2009) SP 2.6.1. 2523-09]. Moscow, Russian Ministry of Health, 2009. 225 p.
7. **Nikipelov B.V., Romanov G.N., Burlakov L.A., Babaev N.S., Holina Yu.B., Mikerin E.I.** Radiacionnaja avarija na Juzhnom Urale v 1957 g. [Radiation accident in the South Urals in 1957]. *Atomnaja energija – Atomic Energy*, 1989, vol. 67, no. 2, pp. 74-80.
8. **Izrael Yu.A., Artemov E.M., Nazarov I.M.** Radioaktivnoe zagriznenie mestnosti v rezul'tate avarii na radiohimicheskom zavode v Tomske-7 [Radioactive contamination of the terrain as a result of the accident at the radiochemical plant in Tomsk]. *Meteorologija i gidrologija – Meteorology and Hydrology*, 1993, no. 6, pp. 5-8.
9. **Nosov A.V., Ashanin M.V., Ivanov A.B., Martynov A.M.** Radioaktivnoe zagriznenie r. Enisej, obuslovennoe sbrosami Krasnojarskogo gorno-himicheskogo kombinata [Radioactive contamination of the river. Yenisei, caused discharges of Krasnoyarsk Mining and Chemical Plant]. *Atomnaja energija – Atomic Energy*, 1993, vol. 74, no. 2, p. 144.
10. **Lystsov V.N., Ivanov A.B., Kolishkin A.Ye.** Radiologicheskie aspekty avarii v Tomske-7 [Radiological aspects of the accident in Tomsk-7]. *Atomnaja energija – Atomic Energy*, 1995, vol. 74, no. 4, p. 364.
11. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 27.02.2004 (№ 112) "Ob ispol'zovanii zemel', podverghshihsja radioaktivnomu i himicheskomu zagrizneniju, provedenii na nih meliorativnyh i kul'turtehnikeskikh rabot, ustanovlenii ohrannyh zon i sohranenii nahodjashhihsja na jetih zemljah ob'ektov" [The Russian Federation Government Resolution dated 27.02.2004 (No. 112) "On the use of land, exposed to radioactive and chemical contamination, carrying out of land clearing and land improvement works, establishing protected areas and the preservation of objects located on these lands"].
12. **Kirillov V.F., Korenkov I.P., Kryukov V.V. Lashenova T.N., Safronov V.G., Sotskov V.T.** O gigienicheskikh kriterijah dopustimoj ostatochnoj aktivnosti radionuklidov posle dezaktivacii [About the hygienic criteria for acceptable residual radionuclide activity after deactivation]. *Gigiena i sanitarija – Hygiene and Sanitation*, 2005, no. 3, pp. 38-42.
13. **Korenkov I.P., Lashchenova T.N., Veselov E.I., Shandala N.K., Maksimov O.A.** Radiojekologicheskie podhody k ranzhirovaniju radiacionno opasnyh ob'ektov [Radiological approaches to the ranking of radioactive facilities]. *Gigiena i sanitarija – Hygiene and Sanitation*, 2011, no. 4, pp. 6-20.
14. **Pozhidaev A.S., Lashchenova T.N., Nikolayevsky V.B.** Osnovnye kriterii reabilitacii lokal'nyh uchastkov zagrizneni. Tret'ja konferencija molodyh specialistov «Obrashhenie s radioaktivnymi othodami. Problemy i reshenija» [The main criteria for the rehabilitation of local sites of contamination]. Third Conference of Young Professionals "Management of Radioactive Waste. Problems and Solutions". RADUGA 2010: Proc. Sergiev Posad, February 9-10, 2010. pp. 100-105.
15. ICRP 2007. Publication 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*, 2007, vol. 37 (2-4), pp. 1-332.
16. ICRP 1991. Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*, 1991, vol. 21, pp. 1-201.
17. ICRP 1977. Publication 26. The 1977 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*, 1977, vol. 1, pp. 1-53.

18. **Alexakhin R.M., Fesenko S.V.** Radiacionnaja zashhita okruzhajushhej sredy: antropocentricheskij i jekocentricheskij principy [Radiation protection of the environment: anthropocentric and ecocentric principles]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation Biology. Radioecology*, 2004, vol. 44, no. 1, pp. 93-103.
19. **Kazakov S.V., Utkin S.S.** Podhody i principy radiacionnoj zashhity vodnyh ob'ektov [Approaches and principles of radiation protection of water bodies]. Ed.: I.I. Linge. Moscow, Nauka, 2008. 318 p.
20. **Sarapultsev B.I., Geraskin S.A.** Geneticheskie osnovy radiorezistentnosti i jevoljucija [Genetic basis of radioresistance and evolution]. Moscow, Energoatomizdat, 1993. 208 p.
21. **Yarmonenko S.P., Vaynson A.A.** Radiobiologija cheloveka i zhivotnyh [Radiobiology of humans and animals]. Moscow, Vysshaya Shkola, 2004. 549 p.
22. **Kazakov S.V., Linge I.I.** O gigenicheskom i jekologicheskom podhodah v radiacionnoj zashhite [About the hygienic and environmental approaches in radiation protection]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation Biology. Radioecology*, 2004, vol. 44, no. 4, pp. 482-492.
23. **Kryshev I.I., Ryazantsev E.P.** Jekologicheskaja bezopasnost' jaderno-jenergeticheskogo kompleksa Rossii [Environmental safety of the nuclear power industry of Russia]. Moscow, IzdAT, 2010, 496 p.
24. **Romanov G.N., Spirin D.A.** Vozdejstvie ionizirujushhih izluchenij na zhivuju prirodu pri urovnjah, predusmotrennyh sovremennymi normami radiacionnoj bezopasnosti [Effects of ionizing radiation on wildlife at levels provided by modern radiation safety standards]. *Doklady Akademii nauk SSSR – Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1991, vol. 318, pp. 248-251.
25. **Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Geras'kin S.A., Sanzharova N.I., Spirin Y.V., Spiridonov S.I., Gontarenko I.A., Strand P.** Comparative radiation impact on biota and man in the area affected by the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *J. Environ. Radioact.*, 2005, vol. 80, pp. 1-25.
26. **Aleksahin R.M., Arhipov N.P., Barhudarov R.M., Vasilenko I.YA., Drichko V.F., Ivanov YU.A., Maslov V.I., Maslova K.I., Nikiforov V.S., Polikarpov G.G., Popova O.N., Sirotkin A.N., Taskaev A.I., Testov B.V., Titaeva N.A., Fevraleva L.T.** Tyazhelye estestvennye radionuklidy v biosfere: Migraciya i biologicheskoe dejstvie na populyacii i biogeocenozy [The heavy natural radionuclide in biosphere: migration and biological effects of ionizing radiation to population and biogeocenoses]. Ed.: R.M. Aleksahin. Moscow, Nauka, 1990. 367 p.
27. **Spirin E.V., Alexakhin R.M., Panchenko S.V.** Ocenka radiojekologicheskoy bezopasnosti uranovogo mestorozhdenija dlja bioty [Assessment of radioecological safety of uranium deposit for the biota]. *Atomnaja energija – Atomic Energy*, 2013, vol. 115, no. 5, pp. 279-284.
28. **Larsson C.-M.** The FASSET Framework for assessment of environmental impact of ionizing radiation in European ecosystems – an overview. *J. Radiol. Prot.*, 2004, vol. 24, pp. A1-A12.
29. **Howard B.J., Larsson C.-M.** The ERICA Integrated Approach and its contribution to protection of the environment from ionising radiation. *J. Environ. Radioact.*, 2008, vol. 99, pp. 1361-1363.
30. **Howard B.J., Beresford N.A., Andersson P., Brown, J.E., Copplestone D., Beaugelin-Seiller K., Garnier-Laplace J., Howe P. Oughton D., Whitehouse P.** Protection of the environment from ionising radiation in a regulatory context – an overview of the PROTECT coordinated action project. *J. Radiol. Prot.*, 2010, vol. 30 (2), pp. 195-214.
31. **Copplestone D., Beresford N., Howard B.** Protection of the environment from ionising radiation: developing criteria and evaluating approaches for use in regulation. *J. Radiol. Prot.*, 2010, vol. 30, pp. 191-194.
32. **Brechignac F., Bradshaw C., Carroll S., Fuma S., Hakanson L., Jaworska A., Kapustka L., Monte L., Oughton D., Sazykina T., Strand P.** Towards an ecosystem approach for environmental protection with emphasis on radiological hazards. International Union of Radioecology, 2012. 82 p.
33. ICRP 2009. Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. *Ann. ICRP*, 2009, vol. 38 (4-6), pp. 1-242.

34. **Andersson P., Beaugelin-Seiller K., Beresford N.A. Copplestone D., Della Vedova C., Garnier-Laplace J., Howard B.J., Howe P., Oughton D.H., Wells C., Whitehouse P.** Deliverable 5: Numerical Benchmarks for Protecting Biota from Radiation in the Environment: Proposed Levels, Underlying Reasoning and Recommendations. Report for the PROTECT Project. EC Contract Number: 036425 (FI6R). Centre for Ecology & Hydrology-Lancaster, Lancaster, 2008.
35. US DOE. United States Department of Energy. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE STD-1153-2002. Washington DC, 2002.
36. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. New York, United Nations, 2011.
37. The ERICA project. Special Issue. *J. Environ. Radioact.*, 2008, vol. 99, pp. 1361-1518.
38. CEPA. Canadian Environmental Protection Act. Priority substances list assessments report. Releases of radionuclides from nuclear facilities (impact on non-human biota). Environment Canada, 1999. 130 p.
39. **Bradshaw C., Kapustka L., Barnthouse L., Brown J., Coffroy P., Forbes V., Geras'kin S., Kautsky U., Brechignac F.** Using an ecosystem approach to complement protection schemes based on organism-level endpoints. *J. Environ. Radioact.*, 2014, vol. 136, pp. 98-104.
40. IAEA 1992. Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Report Series № 332. Vienna, IAEA, 1992.
41. UNSCEAR 1996. Effects of ionizing radiation on the environment. Annex to Sources and effects of ionizing radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. New York, United Nations, 1996. 86 p.
42. Federal'nyj zakon ot 10 janvarja 2002 g. № 7-FZ «Ob ohrane okruzhajushhej sredy». Rossijskaja gazeta. 12 janvarja 2002 g. [Federal Law dated 10 January 2002 № 7-FZ "On Environmental Protection"]. Russian newspaper. January 12, 2002, no. 6 (2874).
43. Declaration of the Conference on the Human Environment /United Nations Conference on the Human Environment. Stockholm, 5-16 June, 1972.