

# Annals of the ICRP

ICRP PUBLICATION 91

## A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species

Editor  
J. VALENTIN

PUBLISHED FOR

The International Commission on Radiological Protection

by



PERGAMON

UK	Elsevier Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK
USA	Elsevier Inc., 360 Park Avenue South, New York 10010-1710, USA
JAPAN	Elsevier K.K., 9-15 Higashi-Azabu 1-chome, Minato-ku, Tokyo 106-0044, Japan

---

Copyright © 2003 ICRP Published by Elsevier Ltd  
All rights reserved.

*The International Commission on Radiological Protection encourages the publication of translations of this report. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means electronic, electrostatic, magnetic tape, mechanical photocopying, recording or otherwise or republished in any form, without permission in writing from the copyright owner.*

ISBN 008 044 3109

ISSN 0146-6453

Published quarterly (March, June, September,  
December) September issue

No responsibility is assumed by the Publisher or the ICRP for any injury and/or damage to persons or property as a matter of products liability, negligence, or otherwise, or from any use or operation of any methods, products, instructions, or ideas contained in the material herein. The recommendations and advice of the ICRP reflect understanding and evaluation of the current scientific evidence as given in this report. If and when further relevant information becomes available, the ICRP may review its recommendations. Because of rapid advances in the medical sciences, in particular, diagnoses and administered amounts of radiopharmaceuticals should be independently verified. Although all advertising material is expected to conform to ethical (medical) standards, inclusion in this publication does not constitute a guarantee or endorsement of the quality or value of such product or of the claims made by its manufacturer.

*Typeset by Variorum Publishing Ltd, Rugby  
Printed and bound in Great Britain by Polestar Wheatons Ltd,  
Exeter*

Публикация 91 МКРЗ

Основные принципы оценки  
воздействия ионизирующих  
излучений на живые организмы,  
за исключением человека

Редактор Я. Валентин

Перевод с английского

Москва  
2004

УДК 615.849.9

**Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека. Публикация 91 МКРЗ.**  
Пер. с англ. М.: Изд. «Комтехпринт», 2004. 76 с.  
**ISBN 5-89107-051-0**

Публикация 91 Международной комиссии по радиологической защите заполняет концептуальный пробел в определении первоочередных задач радиационной защиты природной среды и разработки основных положений в стратегии обеспечения радиационной безопасности биоты.

Большая часть материала посвящена обсуждению сложившейся практики и перспективам модернизации системы защиты человека и окружающей среды. Последний раздел посвящен обсуждению вариантов выработки системного подхода к защите человека и других живых организмов.

Издание предназначено для специалистов по радиационной безопасности, радиобиологии и дозиметрии и читателей, интересующихся этими вопросами.

Публикуется с разрешения Международной комиссии по радиологической защите

ISBN 5-89107-051-0 (русск.)  
ISBN 008 044 3109 (англ.)

© ICRP Published by Elsevier Ltd. 2003  
© Перевод на русский язык, ИБРАЭ РАН, 2004  
© Оформление, «Комтехпринт», 2004

## Содержание

Предисловие к русскому изданию . . . . .	7
Введение приглашенных редакторов . . . . .	17
Предисловие . . . . .	20
Резюме . . . . .	21
Основная исполнительская деятельность . . . . .	22
1. Введение . . . . .	25
1.1. Цели . . . . .	25
1.2. Общие задачи . . . . .	25
1.2.1. Круг обсуждаемых проблем . . . . .	25
1.2.2. Содержание . . . . .	26
1.3. Предпосылки . . . . .	27
1.3.1. Роль международных организаций . . . . .	28
1.3.2. Радиация и окружающая среда . . . . .	31
2. Современные принципы управления окружающей средой. . . . .	36
2.1. Как в настоящее время обществом рассматриваются экологические риски? . . . . .	36
2.1.1. Устойчивое развитие . . . . .	40
2.1.2. Биологические ресурсы и биологическое разнообразие . . . . .	41
2.2. Оценка экологических рисков и управление ими . . . . .	42
3. Биологическое воздействие радиации на живые организмы, исключая человека . . . . .	44
4. Система защиты, принятая Комиссией . . . . .	49
4.1. Оценка риска для человека . . . . .	50
4.1.1. «Стандартный (условный) человек» . . . . .	50
4.2. Пересмотр существующих рекомендаций Комиссии . . . . .	51
4.3. Необходимость реформы . . . . .	52
5. Предложения по системному подходу к оценке действия ионизирующих излучений на живые организмы, исключая человека. . . . .	54
5.1. Введение . . . . .	54
5.2. Цели защиты живых организмов, исключая человека . . . . .	56
5.3. Метод референтной фауны и флоры . . . . .	59
5.3.1. Дозовые модели и геометрии облучения . . . . .	60
5.3.2. Уровни рассматриваемых доз для живых организмов, исключая человека . . . . .	61
5.4. Развитие общего подхода к защите человека и других живых организмов . . . . .	62
6. Обсуждение . . . . .	64
6.1. Вопросы оценки и управления. . . . .	64
6.2. Развитие общего подхода к защите человека и других живых организмов . . . . .	65
6.3. Последующие шаги Комиссии. . . . .	67
7. Выводы и рекомендации . . . . .	69
Литература . . . . .	71



## Предисловие к русскому изданию

Сохранение качества окружающей среды, обеспечивающего устойчивое развитие общества, признано одной из наиболее острых проблем современности. Экологический императив, с учетом постоянно увеличивающихся потребностей в удовлетворении энергетических нужд человечества, относится к числу первых приоритетов в такой отрасли практической деятельности, какой является энергетика. Одним из примеров глобального характера проблем экологичности энергопроизводства являются дискуссии и практические шаги по сокращению выбросов парниковых газов. В целом, можно утверждать, что экологические характеристики различных видов энергопроизводств становятся определяющими критериями перспектив их дальнейшего развития. Имея ряд явных экологических преимуществ, в том числе по ресурсной составляющей, атомная энергетика рассматривается как эффективный способ решения энергетических проблем при одном краеугольном условии — обязательности обеспечения радиационной безопасности на всех этапах ядерного топливного цикла. Выполнение этого условия во многом зависит от такого важного обстоятельства, как незавершенность научной дискуссии о роли радиационного фактора в биосфере и уровне обеспечения радиационной безопасности человека и природной среды, в том числе в контексте обращения с радиоактивными отходами. Заметим, что состоянием защищенности и охраны человека и окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений обуславливается развитие не только атомной энергетики, но и вообще использование любых ядерных технологий.

Радиационная защита человека и других живых организмов, с момента открытия явлений радиоактивности и фактически одновременного обнаружения биологического действия ионизирующих излучений в начале прошлого века, развивалась достаточно быстро, затрагивая все более широкие контингенты людей и объектов окружающей среды. Если до 20-х годов XX столетия вопросы радиационной защиты интересовали очень узкий круг научных работников и техников, работавших с радиоактивными материалами и первыми рентгеновскими установками, то затем проблемы радиационной безопасности затронули как врачей, так и пациентов при широком применении радионуклидов и источников ионизирующих излучений в медицинской практике. В 40–50-х годах, с развитием атомной промышленности, рекомендации по радиационной безопасности потребовалось распространить на значительный контингент работников этой отрасли. В этот же период стали рассматриваться вопросы защиты сельскохозяйственных животных, главным образом в аспектах устойчивости производства продуктов питания в условиях ядерного конфликта. С 50–60-х годов — периода интенсивных ядерных испытаний и связанного с этим глобального радиоактивного загрязнения — проблемы радиационной защиты коснулись всего населения земного шара. Особый интерес к вопросам радиационной безопасности в последней четверти XX века обусловлен развитием атомной энергетики. Аварии на объектах использования атомной энергии, имевшие место как у нас в стране, так и за рубежом, в первую очередь на Чернобыльской АЭС в 1986 г., также инициировали масштабные радиологические и радиоэкологические исследования, которые продолжаются до настоящего времени. В последние 10–15 лет произошел новый виток в эволюции воззрений на радиационную защиту — она включила растительный и животный мир — биотическую оболочку Земли. Во многом это связано со становлением нового мировоззрения, констатировавшего исключительную значимость для человечества проблемы охраны окружающей человека среды от техно-

генных воздействий, как необходимого компонента реализации стратегии устойчивого развития.

В СССР (России) научно-практические разработки в области радиационной защиты окружающей среды были начаты фактически в 1957 г. после крупной радиационной аварии на Урале, приведшей к образованию Восточно-Уральского радиоактивного следа. В этом регионе была собрана первая уникальная радиоэкологическая информация о действии ионизирующих излучений на различные природные и культурные экосистемы (лесные, травянистые, озерные, речные, сельскохозяйственные и др.) в широком интервале мощностей доз и кумулятивных доз. Впоследствии она была дополнена результатами обширных многолетних радиоэкологических исследований в регионе аварии на Чернобыльской АЭС. Следует отметить, что в обоих случаях радиоэкологические исследования шли параллельно с работами по оценке последствий радиационного воздействия на человека. Итоги этих работ обобщены в фундаментальной монографии «Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры» под редакцией Л. А. Ильина и В. А. Губанова (Москва, 2001).

Одной из главных задач радиоэкологической науки в СССР, а затем в России рассматривалось решение вопросов защиты природных объектов от действия ионизирующих излучений посредством радиоэкологического нормирования. В начале 1980-х годов Национальная комиссия по радиационной защите СССР под председательством Л. А. Ильина обсуждала вопрос о санитарно-гигиенических и радиоэкологических принципах радиационной защиты человека и окружающей среды. При этом подчеркивались исключительная комплексность и сложность проблемы.

В результате почти столетней истории решения большого числа научно-практических проблем по обеспечению радиационной безопасности (в первую очередь человека) были созданы научно обоснованная и убедительно подтвержденная практикой стратегия и система защиты здоровья человека от воздействия ионизирующих излучений. Решающая роль в этом принадлежит образованной в 1928 г. Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). За эти годы поле деятельности МКРЗ охватило все аспекты радиационной защиты человека. Один из главных итогов работы МКРЗ — её рекомендации по принципам и стратегии радиационной безопасности. Практически во всех странах мира, в том числе и России, рекомендации МКРЗ стали основой нормативно-правовой базы в области радиационной безопасности.

До конца 80-х — начала 90-х годов прошлого века МКРЗ детально не рассматривала вопросы радиационной защиты объектов окружающей среды — живых организмов, их популяций, сообществ и экосистем. МКРЗ интересовалась окружающей средой лишь в контексте миграции радионуклидов по трофическим цепочкам, ведущим к человеку. Еще в конце 70-х годов XX века МКРЗ сформулировала базовый антропоцентрический принцип защиты природы от влияния ионизирующих излучений. Этот принцип определил суть отношения к охране окружающей человека среды и лёг в основу природоохранного законодательства многих стран мира. Даже если в каких-то странах он не был зафиксирован законодательно, в том числе в России, фактически он был базовым в решении практических вопросов радиационной защиты окружающей среды.

Афористично, этот принцип гласит, что если радиационными стандартами защищен человек, то в этих условиях защищены от действия ионизирующих излучений и другие живые организмы. Этот принцип стал главной парадигмой радиоэкологии: «защищен человек — защищена биота». Первоначально этот подход был записан в *Публикации 26* (1977 г.) в виде параграфа 14: «Хотя главной целью радиационной защиты является достижение и поддержание соответствующих безопасных уровней для деятельности, когда происходит облучение человека, предполагается, что уровень



безопасности, необходимый для защиты людей (всех отдельных индивидуумов), соответствует уровню, необходимому для защиты других видов живых организмов, хотя и не обязательно отдельных особей этих видов. Следовательно, Комиссия полагает, что если человек должным образом защищен, то другие живые организмы также, вероятно, достаточно защищены».

Интерес к радиационной защите окружающей среды в 80-е годы в МКРЗ отражался в работе ее Четвертого комитета (под председательством А. Жамме и Б. Винклера), занимающегося вопросами практического применения рекомендаций МКРЗ (в комитете № 4 около 10 лет работала специальная Рабочая комиссия, изучавшая различные аспекты применения упомянутого выше тезиса).

Впоследствии этот постулат из *Публикации 26* был, в сущности, повторен в параграфе 16 *Публикации 60* МКРЗ — основных действующих рекомендациях по радиационной защите, опубликованных в 1990 г.: «Комиссия считает, что соблюдение стандартов контроля окружающей среды, необходимых для защиты человека в той мере, которая признается в настоящее время желательной, обеспечит также отсутствие риска и для других живых организмов».

Весьма лаконичная формулировка параграфа 16 *Публикации 60*, содержащего принципиальную позицию МКРЗ по отношению к обеспечению радиационной защиты окружающей среды, во многом стала причиной многолетних дискуссий между сторонниками и оппонентами основной парадигмы, в том числе и в России, и объективной основой для ряда критических замечаний в адрес антропоцентрического подхода.

Очевидно также и то, что тезис МКРЗ не может быть экспериментально доказан для всех объектов живой природы в условиях их чрезвычайного разнообразия, т.е. обеспечение радиационной безопасности окружающей среды в подходе *Публикации 60* имеет неявный вид.

Итоги более чем 50-летних радиоэкологических исследований вокруг атомных электростанций и других предприятий ядерного топливного цикла, а также вблизи предприятий атомной промышленности СССР (России) убедительно доказали, что при соблюдении радиационно-гигиенических стандартов (т. е. при использовании антропоцентрического принципа охраны окружающей среды) в условиях нормальной работы предприятий радиационная защита природы надежно обеспечена. Радиационное повреждение биоты наблюдалось только при крупных радиационных авариях, потребовавших проведения таких чрезвычайных мер защиты человека, как эвакуация, отселение, отчуждение территорий.

Многочисленные работы по моделированию и анализу различных радиоэкологических сценариев, выполненные в нашей стране (Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, НПО «Тайфун» и др.) и за рубежом, показывают, что санитарно-гигиенические (антропоцентрические) нормативы почти всегда жестче, чем научно-обоснованные экологические. Они заведомо обеспечивают радиационное благополучие биоты. В ряде работ (Алексахин Р. М., Фесенко С. В., Казаков С. В., Линге И. И., Крышев И. И.) приводятся теоретические и практические доказательства справедливости основной парадигмы радиоэкологии. Тем не менее, необходимость дальнейших исследований эффектов радиационного воздействия на объекты живой природы не подвергается сомнению всеми авторитетными учеными.

Напомним, что в основу антропоцентрического подхода к радиационной защите положены по крайней мере три базовых постулата. Во-первых, человек (как и другие млекопитающие) принадлежит к самым радиочувствительным живым организмам на Земле. Во-вторых, для человека (относительно других видов биоты) приняты наиболее

высокие «запасы надежности» при нормировании радиационного воздействия, т. е. установлена максимальная разница между принятыми нормативами предельно допустимыми дозами облучения в условиях осуществления практической деятельности и теми дозами, при которых отмечены какие-либо негативные эффекты для здоровья человека. Наконец, в-третьих, охрана здоровья и благополучия человека причислена к числу высших приоритетов.

В целом в последнее десятилетие в мире отмечается явно выраженный сдвиг — на смену антропоцентрической концепции предлагаются *биоцентрический* и *экоцентрический* принципы обеспечения безопасности. При биоцентрическом подходе защита может распространяться и распространяется на отдельных особей других видов (кроме человека), а при экоцентрическом — на всё в окружающей среде — и на биотическую (человек и другие живые организмы), и абиотическую компоненты. Важно отметить, что дискуссии между сторонниками антропоцентрического и эко- и биоцентрического подходов к охране окружающей среды характерны не только для области радиационной защиты. В отношении загрязнения окружающей среды вредными химическими веществами и техногенной деятельности в целом некорректность антропоцентрического подхода, в отличие от радиационной защиты, достаточно очевидна.

Формулирование стратегии устойчивого развития послужило серьезным стимулом для усиления внимания к вопросам защиты окружающей среды на всех уровнях государственного управления, в том числе и в Российской Федерации. В последние годы разработаны и опубликованы такие важные документы, как: «Концепция устойчивого развития Российской Федерации», закон Российской Федерации «Об охране окружающей среды», «Экологическая доктрина Российской Федерации», «Основы государственной политики Российской Федерации в области ядерной и радиационной безопасности», «Основы экологической политики Минатома России». Все они определяют задачу охраны окружающей среды и снижение уровней негативного воздействия в качестве приоритетной.

Активность МКРЗ в отношении рассмотрения вопросов радиационной защиты объектов окружающей среды также существенно возросла. Она вошла в число инициаторов и участниц ряда крупных международных форумов по этой проблеме. В 2000 г. МКРЗ образовала специальную Рабочую группу (Task Group), итогом работы которой явилась *Публикация 91*. Эта публикация — кредо МКРЗ на современном этапе, квинт-эссенция ее взглядов на проблемы радиационной защиты окружающей среды.

С учетом значимости проблемы и авторитета МКРЗ нам представлялось важным опубликовать перевод *Публикации 91* на русский язык и её издание достаточным тиражом. Отсутствие подобного издания существенно осложняет обсуждение проблемы среди российских специалистов и уровень этого обсуждения. Благодаря поддержке Федерального агентства по атомной энергии и согласию МКРЗ<sup>1</sup> это удалось осуществить.

Позволим себе кратко прокомментировать некоторые положения *Публикации 91*.

Комиссия считает главной задачей *Публикации 91* заполнение концептуального пробела в определении первоочередных задач радиационной защиты природной среды и разработки основных положений в стратегии обеспечения радиационной безопасности биоты (параграф 1).

Содержание публикации лежит полностью в контексте определенной цели. Большая часть материала (разделы 1–4) посвящена обсуждению сложившейся практики и завершается констатацией необходимости реформ, в том числе с учетом перспектив модернизации системы защиты человека. И лишь пятый раздел посвящен обсуждению

---

<sup>1</sup> Далее в тексте «Комиссия» (Примеч. изд.)

вариантов выработки системного подхода к защите человека и других живых организмов. Отчет во многом адресован самой Комиссии, как постановочный документ, намекающий ориентиры для дальнейших работ.

Естественно, что в *Публикации 91* проведен тщательный анализ основного заявления МКРЗ из *Публикации 60* «защищен человек — защищена биота» (эта цитата трижды воспроизводится в *Публикации 91* — в параграфах 8, 10, 81).

При этом ряд положений *Публикации 91*, по нашему мнению, сформулирован излишне категорично. Например, параграф 92: «*Подход, ориентированный на человека, использовавшийся МКРЗ до сих пор, имеет очевидные ограничения относительно биосферы в целом. Действующая система радиационной защиты в общем не применима к окружающей среде и не соответствует нуждам управления или запросам общества. Заявление о текущей политике Комиссии, содержащееся в параграфе 16 Публикации 60, в возрастающей степени оспаривается из-за недостатка доказательств, ясности и отсутствия связи с целями общества по защите окружающей среды.*»

Также достаточно категорично утверждается в параграфе 39 «... *в обществе явно виден сдвиг от долго державшегося антропоцентрического подхода к окружающей среде к подходу, который включает и ее биотическую, и небиотическую компоненты. Все недавние конвенции, принципы, отчеты и заявления поддерживают широко признанную теперь точку зрения о необходимости убедительно доказать, что окружающая среда может быть и будет защищена от воздействия радиации.*»

Следует особо подчеркнуть, как неоднократно отмечается в *Публикации 91* (параграф 140), что переход с антропоцентрической концепции на эоцентрический принцип отнюдь не связан с какой-либо обеспокоенностью современной радиационной ситуацией в биосфере Земли — она продолжает сохраняться достаточно благополучной (речь идёт, конечно, о глобальной оценке этой ситуации). Вместе с тем в параграфе 140 отмечается, что «*существует необходимость развития рамочной программы для оценки радиационных воздействий на живые организмы, исключая человека.*»

В качестве аргументов, свидетельствующих, по мнению оппонентов антропоцентрического подхода, о его недостаточности (а часто утверждается и более категорично — некорректности), в *Публикации 91* приводятся следующие.

Во-первых, существуют радиоэкологические ситуации, когда в экосистемах человек отсутствует, а радиационная защита биоты должна быть обеспечена. Такие примеры хорошо известны и рассматриваются в *Публикации 91* (параграфы 82, 108). В качестве комментария отметим, что, строго говоря, антропоцентрический принцип МКРЗ, если следовать его буквальной формулировке, записанной в параграфе 16 *Публикации 60*, не относится к экосистемам, где нет человека («свободные от человека экосистемы — free man ecosystems»). Антропоцентрический принцип утверждает формально — «если человек защищен (т. е. когда он присутствует), то защищена и биота». Кроме того, корректность тезиса для его применения в «экосистемах без человека» может быть проверена виртуальным помещением человека в эту экосистему. И если при таком допущении человек оказывается защищенным от действия ионизирующих излучений, то будет защищена и биота.

Во-вторых, в одних и тех же экологических условиях человек, с одной стороны, и биота — с другой, могут подвергаться облучению в разных дозах (это подчеркивается в параграфе 82). Указанная особенность формирования доз облучения на человека и биоту в природной среде также хорошо известна. Она была отмечена в работах радиоэкологов в СССР ещё в 60-х годах на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа. Впоследствии эти закономерности были подтверждены в регионе аварии на Чернобыльской АЭС. В *Публикации 91* аналогичные данные приведены (параграф 83) для

района радиоактивных сбросов вблизи ядерных объектов в Селлафильде (Великобритания). Важно подчеркнуть, что дозы облучения биоты в этих ситуациях могут быть в 10–100 раз выше, чем человека.

Наконец, в-третьих, постулат МКРЗ относится только к действию ионизирующих излучений, а Комиссия, выдвигая эгоцентрические принципы, хотела бы одновременно рассматривать как влияние облучения, так и поллютантов и агентов нерадиационной природы.

В качестве основы для разработки концептуальной основы радиационной защиты окружающей среды МКРЗ в *Публикации 91* выбрала хорошо отработанную в научном отношении и практическом плане систему радиационной защиты человека. Основанием для такого выбора послужили два обстоятельства. Во-первых, в системе радиационной защиты окружающей среды Комиссия исходит из тезиса, что и человек, и биота являются компонентами единых экосистем. Во-вторых, действие ионизирующих излучений на человека и другие виды реализуется в рамках единых механизмов и процессов влияния радиации на любую живую материю. Вместе с тем, радиационная защита окружающей среды имеет ряд принципиальных особенностей по сравнению с обеспечением радиационной безопасности человека. В первую очередь это касается этических, социальных и экономических аспектов защиты природы, ибо биотическая (как, впрочем, и абиотическая) компонента окружающей среды, до сих пор и в достаточно обозримом будущем, остается, в основном, объектом удовлетворения различных хозяйственных нужд человека (пищевые ресурсы, строительные материалы, сырье для разных видов промышленности и т. п.). Этим аспектам охраны природы от воздействия ионизирующих излучений в *Публикации 91* уделяется важное внимание (параграфы 104–108).

В *Публикации 91* подчеркивается нерешенность в определении основного фундаментального понятия — что же такое «радиационная защита окружающей среды» и предпринята попытка (параграф 119) дать такую дефиницию. Не воспроизводя это определение целиком, отметим только, что речь идет об уровнях пренебрежимо малого воздействия на сохранение видов и поддержание разнообразия. И здесь сразу возникает проблема необходимости доказательства того, что деятельность не приводит к ущербу окружающей среде. Признавая эту проблему (параграф 106), авторы *Публикации 91* тем не менее не дают её решения для случая пренебрежимо малых уровней воздействия.

МКРЗ рассматривает одной из своих задач установление международно согласованных принципов и критериев радиационной защиты природы. Этот аспект приобретает особое значение в связи, например, с возможностью трансграничного переноса радиоактивных веществ. Наличие общих, единых международно признанных стандартов на радиационную защиту природы (при этом не исключается, вообще говоря, применение антропоцентрического принципа охраны окружающей среды, т. е. нормирования воздействия по человеку), несомненно, усилило бы доверие общественности и населения к решению вопросов реабилитации загрязненных территорий в местах радиационных аварий с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, зонах испытания ядерного оружия, при нарушении условий и правил обращения с радиоактивными отходами.

Следует позитивно отнестись к идее, заложенной в *Публикации 91*, — гармонизировать подходы в защите биоты как от действия ионизирующих излучений, так и поллютантов и вредных агентов нерадиационной природы (параграф 94). В *Публикации 91* поднимается трудно разрешимый вопрос о сочетанном действии ионизирующих излучений и других вредных факторов. Существует достаточно распространенное и в значительной степени обоснованное мнение, что в системе защиты здоровья человека и

окружающей среды воздействие радиационного фактора лимитировано значительно жестче, чем влияние очень многих токсикантов и других агентов нерадиационной природы. Совершенно очевидны значительные трудности такой гармонизации с учетом различий в механизмах биологического действия разных вредных факторов, недоговоренности о конечных точках при оценке биологических эффектов у биоты, уровнях биологической организации (организменный, популяционный или экосистемный) при определении экологического риска.

Логическим завершением разработки эоцентрического принципа радиационной защиты окружающей среды могли бы стать нормативы допустимого облучения биоты и последующее внедрение этой нормативной базы в практику обеспечения радиационной безопасности. И здесь сразу следует подчеркнуть, что в *Публикации 91* о необходимости создания и последующего применения такого рода предельно допустимых доз упоминается с оговорками (параграф 12). Более того, утверждается, что в *Публикации 91* (параграф 7) «не ставится целью ни определить предельные дозы на биоту, ни дать рекомендации что защищать и какие уровни риска считать допустимыми».

Отмечая очевидный сдвиг в эоцентрическом направлении в области радиационной защиты, нужно подчеркнуть, что ещё в 1992 г. МАГАТЭ записала в документе «Защита растений и животных от действия ионизирующих излучений на уровне действующих в настоящее время радиационных стандартов», что «нет необходимости в специальных стандартах радиационной защиты для живых организмов, исключая человека». Правда, в этом же документе оговаривается, что возможны исключительные сценарии, когда отдельные группы живых организмов могут быть подвергнуты воздействию повышенных доз облучения. Кроме того, отдельные представители биоты могут находиться под влиянием стресса от других экологических факторов. В каждом из этих случаев необходим конкретный анализ возможных последствий.

В *Публикации 91* неоднократно (в параграфах 119, 131, 142) декларируется, что нужно добиться решения двуединой задачи — обеспечить одновременно и радиационную безопасность человека, и радиационную защиту биоты. Тем не менее, прямого ответа на принципиальный вопрос — достаточно ли (по крайней мере в определенных ситуациях) для обеспечения радиационной защиты биоты в практических целях ограничиться существующей системой нормативов, регламентирующих допустимое облучение человека (в частности, предложенных в рекомендациях *Публикации 60* МКРЗ 1990 г.), в *Публикации 91* не дается. Трудности ответа на этот вопрос в ситуации существования одновременно антропоцентрического и эоцентрического принципов радиационной защиты очевидны, и в этом отношении предстоят дальнейшие поиски консенсуса.

Комиссия не указывает в своих рекомендациях «должны ли рассматриваться обоснование или оптимизация в случаях защиты живых организмов, исключая человека, или же какие дозовые пределы — если таковые есть, и при каких обстоятельствах — должны бы или могли бы применяться к биоте» (параграф 12). И хотя, таким образом, вопрос о разработке и возможном использовании нормативов (дозовых пределов) при облучении биоты является весьма чувствительным и нерешенным, тем не менее уже фактически есть примеры применения таких нормативов для биоты. Так, в США по предложению Департамента по энергетике введены или рассматриваются для использования предельные мощности дозы облучения водных организмов (1 рад/день) и наземных растений и животных (соответственно 1 и 0,1 рад/день).

В *Публикации 91* (параграфы 11 и 12) подчеркнуто, что нет оснований, исходя из основных рекомендаций МКРЗ (в частности, *Публикации 60*), использовать предлагаемые ею дозовые пределы для облучения человека (по-видимому, в первую очередь ши-

роко применяемое сейчас ограничение облучения населения дозой 1 мЗв/год) при сравнении с допустимым облучением биоты. Такое прямолинейное сопоставление допустимого облучения человека, с одной стороны, и биоты, — с другой, считается не имеющим оснований, хотя не ясно почему и по каким убедительным мотивам. Небесспорно, по-видимому, и утверждение, содержащееся в параграфе 11 *Публикации 91*, что «эта система (имеется в виду система радиационной защиты человека — примеч. авт.) не связана с пределами доз». Как известно, использование пределов доз для человека является одним из базовых принципов рекомендаций МКРЗ в области радиационной защиты. И кажется вполне обоснованным и естественным при многократном декларировании в *Публикации 91* необходимости одновременного обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды сравнивать облучение человека и биоты, находящихся в одной экосистеме. Именно поэтому сопоставляются предлагаемые в настоящее время различными организациями нормативы облучения биоты с дозовыми пределами облучения человека по соответствующим рекомендациям МКРЗ. По сути это предлагается делать и в *Публикации 91* (параграф 120, рис. 5.1).

Одной из наиболее развитых идей *Публикации 91* является применение так называемых моделей референтных живых организмов. К их числу предложено отнести сравнительно небольшое количество представителей растений и животных. Считается, что группа референтных организмов станет реперной в оценке основных закономерностей действия ионизирующих излучений на флору и фауну. При выборе таких референтных видов учитываются в первую очередь следующие особенности: 1) радиочувствительность (желательно, чтобы были выбраны особо радиочувствительные представители), 2) значимость в экосистеме (предпочтение отдается доминантам), 3) представительность в основных экосистемах мира, 4) объем имеющейся радиобиологической и радиоэкологической информации по этим видам. Предполагается, что указанные виды растений и животных будут отличаться по геометрии облучения, и это облегчит трансформацию полученных выводов на аналогичные по массе и форме другие таксономические группы флоры и фауны. Главная комиссия МКРЗ уже создала (2002 г.) новую Рабочую группу по «референтным представителям» растений и животных. К настоящему времени эта Рабочая группа выбрала около 10 таких реперных групп живых организмов.

Соглашаясь с рациональностью подхода, базирующегося на «референтных представителях» флоры и фауны, следует представить сложность задачи, связанной с предполагаемой последующей экстраполяцией этих данных с учетом исключительного биоразнообразия живых организмов, которые могут считаться представительными для окружающей среды вблизи объектов ядерной энергетики, например в Европе, или, на уровне отдельного государства, как в России. Число таких референтных организмов (реперных для разных экосистем), для которых предстоит собрать представительные данные не только для различных геометрий облучения, но и по зависимости доза (мощность дозы) — эффект и соответствующую радиобиологическую и радиоэкологическую информацию, может быть не так мало, как кажется на первый взгляд, и вообще сложно осуществимо в принципе.

Естественно, нетрудно представить, какие громадные сложности должны встать перед органами управления — менеджерами, операторами, лицензионными организациями и практическими работниками, если поднимется вопрос об ограничении воздействия ионизирующих излучений по принципу влияния на растения и животных, их популяции, сообщества и экосистемы. Вышеизложенное показывает, насколько будут трудоемки задачи при использовании референтных организмов для оценки воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду.

Отношение к происходящему в последние годы развитию экоцентрических тенденций в радиационной защите человека и окружающей его среды следует, по-видимому, формировать в двух аспектах. С одной стороны, чисто фундаментальной и научной, нужно поддерживать расширение в рациональных масштабах исследований по комплексу вопросов, связанных с изучением действия ионизирующих излучений на растительный и животный мир Земли (экологическая дозиметрия, основные радиоэкологические эффекты, зависимость доза облучения — эффект, комбинированное действие облучения и других экологических факторов, в том числе эффекты негативного характера и др.). Нужно подчеркнуть, что только экспериментальный подход обеспечивает получение прямого ответа об уровнях облучения, при которых возникают неблагоприятные эффекты. Сопоставление текущих уровней с указанными нормативами — это единственный путь получения прямого ответа на вопрос, защищены ли представители биоты от действия ионизирующих излучений.

С другой стороны, требуется проявить очень серьезное внимание к практическим сторонам возможного использования биоцентрических и экоцентрических принципов в мониторинге и контроле окружающей среды вблизи предприятий ядерной энергетики и мест размещения ядерных установок (в частности, при контроле за радиоактивными выбросами). В практическом плане применение антропоцентрических подходов (санитарно-гигиенических радиологических нормативов при охране окружающей среды) убедительно доказывает их состоятельность и надежность для развития ядерной энергетики. Эта методология научно и практически разработана, хотя и не исключает дальнейшего совершенствования.

Монопольное положение МКРЗ в области радиационной защиты человека на международном уровне предопределяет ее ключевую роль в этой области. Несколько иная ситуация складывается в радиационной защите окружающей среды, где Комиссия в последние годы активизировала свое участие и уже внесла определенный вклад. С учетом большой заинтересованности ряда международных организаций (МАГАТЭ, Научный комитет ООН по действию атомной радиации, Международный союз радиоэкологии и др.) в сфере охраны окружающей среды от действия ионизирующих излучений намечена скоординированная программа совместных действий (параграфы 14–24). Предполагается, что в этой структуре МКРЗ явится организацией, ответственной за разработку рекомендаций по радиационной защите как человека, так и других живых организмов (параграф 23). Важным шагом в этом направлении послужит планируемый выход в свет в 2005 г. новых рекомендаций по радиационной защите, которые призваны заменить рекомендации 1990 г. (*Публикацию 60*). Знаменательно, что впервые в истории МКРЗ в эту своеобразную библию радиационной защиты планируется включить раздел по радиационной защите окружающей среды.

Еще раз отметим, что тенденция усиления экологических принципов связана не с реальными и массовыми фактами угнетения объектов живой природы в условиях, когда человек защищен или отсутствует, а с новыми ценностями общества, когда озабоченность опасностью может являться главной проблемой для политиков и общественности. В этой связи значительное количество материала *Публикации 91* относится к проблеме этики и управления окружающей средой — тематике, которая ранее находилась далеко за рамками радиологической и радиоэкологической науки.

При переводе *Публикации 91* на русский язык пришлось столкнуться с некоторыми трудностями, в первую очередь связанными с различиями в научном лексиконе, используемом в области радиационной защиты в разных странах. В этих случаях перевод на русский в ряде случаев сопровождается указанием в скобках английского оригинала. Было отдано предпочтение термину «радиационная защита», общепринятому в рус-

скоязычной литературе, а не «радиологическая защита». Очень часто применяемое понятие «non-human species» переведено как «живые организмы, исключая человека», но далее в тексте обычно используется в сокращенном варианте — «живые организмы», «биота», за исключением тех случаев, где полный перевод необходим. Термины «ионизирующие излучения» и «ионизирующая радиация» даются как синонимы, иногда слово «ионизирующие» опускается.

К сожалению, существовавшая до середины 80-х годов в СССР (России) традиция перевода публикаций МКРЗ на русский язык (в этом надо отметить роль члена Главной комиссии МКРЗ в 1977–1985 гг. доктора биологических наук А. А. Моисеева) была нарушена, и последняя публикация МКРЗ (*Публикация 60*) была переведена на русский в 1991 г. (К настоящему времени — к 2004 г. МКРЗ выпустила в свет 93 публикации).

Выход в свет *Публикации 91* и дальнейшая активность МКРЗ в этом направлении очень важны для всесторонней оценки и решения проблем радиационной защиты окружающей человека среды. С этой точки зрения, несомненно, публикация русского перевода будет способствовать более полному представлению о современных тенденциях в этой области.

Перевод с английского выполнен к. т. н. С. В. Казаковым и к. ф.-м. н. О. М. Татаринской под руководством академика РАСХН Р. М. Алексахина.

Р. М. Алексахин,  
академик Россельхозакадемии,  
член Главной комиссии МКРЗ,  
заместитель председателя РНКРЗ  
(Всероссийский научно-исследовательский  
институт сельскохозяйственной радиологии  
и агроэкологии)

И. И. Линге,  
доктор технических наук, член РНКРЗ  
(Институт проблем безопасного развития  
атомной энергетики Российской академии  
наук)



## Введение приглашенных редакторов

### Политика Комиссии в отношении окружающей среды

В настоящее время позиция Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) в отношении окружающей среды изложена в *Публикации 60* (ICRP, 1991): *«Комиссия считает, что соблюдение стандартов контроля окружающей среды, необходимых для защиты человека в той мере, которая признаётся в настоящее время желательной, обеспечит также отсутствие риска и для других видов живых организмов»*. До настоящего времени Комиссия не публиковала никаких рекомендаций относительно того, как должна осуществляться защита окружающей среды, поэтому в 2000 г. Комиссия образовала Рабочую группу (Task Group) для постановки данного вопроса и недавно одобрила её настоящий отчет. Данный отчет адресован самой Комиссии и посвящен роли, которую она может играть в этой важной и развивающейся области, построенной на принципах, развитых для защиты человека, и на особой сфере экспертизы Комиссии — радиационной защите.

В настоящее время не существует международных согласованных критериев или политических документов, однозначно посвященных защите окружающей среды от ионизирующих излучений, хотя большое количество международных соглашений и законодательных актов предусматривает защиту от загрязнений вообще, включая радиацию. Отсутствие как политики, так и технической основы для оценок, критериев или нормативов, одобренных на международном уровне, делает сложным и установление, и доказательство того, надежно ли защищена окружающая среда от потенциальных радиационных воздействий в различных ситуациях. Разработка и развитие полноценной рамочной основы в оценках на международном уровне явились бы поддержкой и обеспечили бы прозрачность процесса принятия решения.

Система защиты человека, которой придерживается Комиссия, косвенно обеспечивает довольно надёжный уровень защиты среды его обитания. Решение Комиссии о развитии системы рамочной оценки для определения радиационных эффектов у живых организмов, исключая человека, не было продиктовано какой-либо особой обеспокоенностью о радиационной опасности для окружающей среды. Скорее, эта система формируется для заполнения концептуального пробела в радиационной защите и выяснения того, каким образом предложенные принципы могут содействовать достижению целей общества по охране окружающей среды, развивая политику защиты на основе научных и этико-философских принципов.

Рамочные подходы будут разработаны Комиссией так, чтобы они согласовались с предложенными ею подходами к защите человека. Для этого будут созданы согласованный набор количественных параметров и единиц, набор референтных дозовых моделей, референтные данные по дозам в расчете на единицу поступления радионуклидов и референтные организмы. В качестве первого шага Комиссия отберет ограниченное число референтных видов фауны и флоры, на других этапах могут быть развиты более специфические по ареалам и ситуациям подходы для оценки рисков и управления ими при облучении живых организмов, исключая человека. Две из наиболее важных особенностей радиационной защиты человека — продолжающееся развитие концепции «Стандартного (условного) человека» в качестве основы для оценки радиационных эффектов и новая предложенная концепция, согласно которой различные индивидуальные годовые дозы выражаются через «уровни озабоченности» (levels of concern), использующие мощности дозы природного радиационного фона в качестве исходной точки отсчета.

Предложенная система не направлена на установление регулирующих нормативов. Комиссия скорее рекомендует общие положения, которые могут служить практическим инструментом при выработке на высоком уровне рекомендаций и инструкций и могут помочь управляющим структурам и операторам продемонстрировать согласие с существующим законодательством. В отличие от уникальности положения МКРЗ в радиационной защите человека, исходя из которого Комиссия играет главную роль во влиянии на правовые рамки и цели на международном и государственном уровнях, предмет защиты других видов живых организмов является более сложным и многогранным с множеством уже существующих законодательных рамок и целей в области защиты окружающей среды.

Учитывая это, Комиссия выберет небольшое число референтных видов фауны и флоры, а также создаст соответствующие базы данных для них — аналогично тому, как это сделано для «Стандартного (условного) человека», — что будет служить основой для более фундаментального понимания и интерпретации соотношения между облучением и дозой, а также дозой и определенной категорией эффектов для небольшого числа четко определенных типов животных и растений. Величина доз, связанных с этими эффектами, будет представлена с помощью «зон», таких как «предложенные уровни рассмотрения» (*derived consideration levels*), аналогичные «уровням обеспокоенности» для человека. Такие наборы данных могли бы впоследствии служить основой, на которой государственные органы развивали бы, если потребуется, более прикладные и специфические подходы к оценке рисков и управлению ими для живых организмов, кроме человека, при возникновении определенных ситуаций или на национальном уровне.

Указанная выше концепция разработки баз данных для референтных видов фауны и флоры, таким образом, аналогична концепции референтного индивидуума — «Стандартного (условного) человека», используемой в радиационной защите человека, когда она предназначена в качестве основы для большого количества расчетов и решений. Подразумевается, что каждый референтный организм служил бы в виде *первичной* точки отсчета в оценке рисков для организмов с аналогичным жизненным циклом и параметрами облучения. Более частная информация могла бы быть собрана для любых других животных и растений, но для всякого такого набора данных затем было бы необходимо доказывать, что они каким-то образом связаны с референтными организмами.

Комиссия признает важную работу, проделанную другими национальными и международными организациями, и необходимость сотрудничества с ними в области радиационной защиты. Важная проблема для МКРЗ — это проблема интегрирования любого подхода к защите окружающей среды с подходом к защите человека, которая в последнее время также является предметом углубленного анализа.

Необходимо, чтобы система радиационной защиты живых организмов, кроме человека, находилась в гармонии с принципами радиационной защиты человека. Целями общего подхода к радиационной защите живых организмов, кроме человека, могла бы стать охрана окружающей среды путем:

- предотвращения или уменьшения частоты эффектов, которые, вероятно, могли бы привести к преждевременной смертности или снижению репродуктивных потенций у отдельных видов животных или растений, до пренебрежимо малого уровня;
- сохранения видов, поддержания биоразнообразия или благосостояния природной среды обитания или сообществ живых организмов.

МКРЗ может и готова играть ключевую роль в отношении защиты от ионизирующей радиации как в проведении консультаций по выработке общих международных принципов, так и в обеспечении базовой интерпретации существующих научных дан-

ных — определении областей и направлений дальнейшего исследования, чтобы сформулировать соответствующие общие принципы.

Система защиты Комиссии развивалась с появлением новых данных и по мере того, как возрастало понимание лежащих в ее основе механизмов. В связи с этим оценки риска регулярно пересматриваются Комиссией, а обстоятельная ревизия проводится с интервалом времени порядка 10–15 лет. Следовательно, вероятно, что любая система, разработанная для радиационной защиты окружающей среды, также потребует времени для развития и аналогично станет предметом пересмотра по мере получения новых данных и накопления практического опыта.

Роджер Х. Кларк (Roger H. Clarke)

Ларс-Эрик Холм (Lars-Erik Holm)

## Предисловие

На встрече в Вене в мае 2000 г. Главная комиссия МКРЗ приняла решение образовывать Рабочую группу, отчитывающуюся непосредственно перед МКРЗ, для того, чтобы подготовить отчет по проблемам защиты окружающей среды. Перед Группой была поставлена цель: сформировать основы политики защиты окружающей среды и создать соответствующую рамочную программу работ, базирующиеся на научных и этико-философских принципах. Предложенные для указанной рамочной программы концепции, содержащиеся в этом документе, включают в себя обеспечение защиты живых организмов, исключая человека<sup>1</sup>, а не всех биотических и абиотических компонентов и экосистем природы. Ожидается, что эти концепции поддержат дискуссию Главной комиссии о том, как МКРЗ должна действовать в области политики по защите живых организмов, и, соответственно, о подготовке дальнейших рекомендаций МКРЗ.

### Состав Рабочей группы:

Л.-Э. Холм (L.-E. Holm), Швеция (председатель)  
Р. Алексахин, Российская Федерация  
R. J. Pentreath (Р. Я. Пентриз), Великобритания  
П. Странд (P. Strand), Норвегия  
К. Шрэдер-Фречетт (K. Shrader-Frechette), США  
П.-А. Томпсон (P.-A. Thompson), Канада

### Члены-корреспонденты:

Ф. Брешиньяк (F. Brechignac), Франция  
Д. Канчио (D. Cancio), Испания  
С. Кэрролл (S. Carroll), Гринпис Интернейшнл  
М. Е. Кларк (M. E. Clark), США  
С. Домотор (S. Domotor), США  
Ф. Фрай (F. Fry), Великобритания  
К. Фуджимото (K. Fujimoto), Япония  
Н. Гентнер (N. Gentner), НКДАР ООН  
Дж. Хантер (G. Hunter), Европейская комиссия  
А. Янссенс (A. Janssens), Европейская комиссия  
К.-М. Ларссон (C.-M. Larsson), Швеция  
И. Лихтарев, Украина  
С. Мазерсилл (C. Mothersill), Ирландия  
К. Робинсон (C. Robinson), МАГАТЭ  
С. Сэдэсивен (S. Sadasivan), Индия  
С. Сен-Пьер (S. Saint-Pierre), Франция  
Р. Саксен (R. Saxen), Финляндия  
А. Шпиз (A. Shpyth), Канада  
С. Санделл-Бергман (S. Sundell-Bergman), Швеция  
Д. С. Вудхед (D. S. Woodhead), Великобритания  
Х. Янг (H. Yang), КНР  
А. Запантис (A. Zapantis), Австралия

Отчет был одобрен Главной комиссией на совещании в Вене 24–25 января 2003 г.

<sup>1</sup> Далее в тексте «живые организмы\*» (Примеч. ред. рус. перев.)

# Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека

Публикация 91 МКРЗ

Одобрено Комиссией в октябре 2002 г.

## Резюме

В своих рекомендациях 1990 г. МКРЗ отметила, что соблюдение стандартов контроля окружающей среды, необходимых для защиты человека в той мере, которая признается в настоящее время желательной, обеспечит также отсутствие риска и для других видов живых организмов. МКРЗ полагает, что такая система радиационной защиты гарантирует достаточно надежную непрямую защиту среды обитания человека. Однако не существует международно-согласованных критериев или правил, однозначно касающихся защиты окружающей среды от ионизирующих излучений, и трудно определить или доказать, достаточно или нет защищена окружающая среда от радиационного воздействия в различных условиях. В представленном документе предложена рамочная программа, основанная на научных и этико-философских принципах, с помощью которых может быть достигнута защита живых организмов\*. Исходная цель развития такой программы заключается в заполнении концептуального пробела в радиационной защите; она не отражает какой-либо особой озабоченности в отношении радиационной опасности для окружающей среды.

Предложенная рамочная программа разработана таким образом, чтобы она гармонизировала с подходом к защите человека, но не предусматривала установления каких-либо нормативов по регулированию в области радиационной защиты. Напротив, указанная программа нацелена на то, чтобы быть практическим инструментом для обеспечения рекомендациями высшего уровня и руководством регулирующих органов и операторов. Чтобы сформировать основу для более глубокого понимания и объяснения взаимосвязи между облучением и дозой, и между дозой и определенными видами ответных реакций, для небольшого числа строго определенных видов животных и растений необходимо иметь связанный набор количественных параметров и единиц измерений, набор моделей для референтных доз, референтные зависимости дозы от единицы поглощенного количества радионуклидов (или от единичной дозы), а также референтные виды фауны и флоры. В качестве первого шага МКРЗ будет разработан небольшой набор референтных видов фауны и флоры с соответствующей базой данных. На следующих этапах впоследствии могут быть развиты более специфические по ареалу и ситуации подходы к оценке рисков и управлению ими для живых организмов\*.

© 2003 МКРЗ. Опубликовано издательством Elsevier Ltd. Все права сохранены.

*Ключевые слова:* Окружающая среда, Радиационная защита, Биоцентрический, Устойчивое развитие, Референтная модель.

## Основная исполнительская деятельность

В мае 2000 г. Главная комиссия МКРЗ приняла решение об образовании Рабочей группы для разработки предложений в области политики по защите окружающей среды и создания рамочной программы, основанной на научных и этико-философских принципах, с помощью которой эта политика может быть реализована. Это явилось новой сферой деятельности Комиссии, так как ранее она рассматривала воздействие ионизирующих излучений на другие живые организмы только в той степени, в которой это было связано с защитой человека. В отличие от уникальной позиции МКРЗ в отношении радиационной защиты человека, где Комиссия играет главную роль при формировании законодательной системы и требований международного и национального уровней, предмет защиты окружающей среды является более сложным и многосторонним, при наличии большого количества уже существующих международных и государственных законодательных актов по окружающей среде.

С учетом вышеизложенного была обсуждена настоящая и возможная будущая роль Комиссии в защите окружающей среды с точки зрения более глубокого понимания воздействия ионизирующих излучений на животных и растения. Был сделан вывод, что главный вклад, который могла бы внести Комиссия, заключается в разработке более обоснованных политики и руководства, как это сделано в отношении радиационной защиты человека с помощью рекомендаций, включающих наборы некоторых основных данных и моделей. Признано необходимым, чтобы Комиссия разработала более разносторонний подход к изучению воздействия ионизирующей радиации и, таким образом, к радиационной защите всех живых организмов, а также создала «систему защиты», включающую как человека, так и другие живые объекты.

Если бы такой подход был принят МКРЗ, становится ясно также, что она должна работать в сотрудничестве с другими организациями. Кратко обсуждается относительная роль Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН, UNSCEAR), Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ, ICRU), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ, IAEA), Агентства по ядерной энергии (АЯЭ, NEA), Международной ассоциации по радиационной защите (МАРЗ, IRPA) и Международного союза радиэкологии (МСР, IUR). Также затрагивается роль международных организаций, которые имеют важное значение при практическом достижении целей защиты окружающей среды, включая вышеперечисленные организации, а также такие структуры и органы, как заключенная в Осло и Париже Конвенция по защите морской среды Северо-Восточной Атлантики (OSPAR), Европейский союз (ЕС, EU) и др. Такой подход МКРЗ также должен быть представлен с учётом существующих в настоящее время этических и социальных точек зрения на то, что составляет в принципе защиту окружающей среды, и как такие различные точки зрения и общепринятые принципы помогут определить соответствующие задачи.

Считается, что последние исследования МАГАТЭ (IAEA, 2002a) создают надежную основу для дальнейшей деятельности, если принять во внимание соответствующие современные этические точки зрения — антропоцентрическую, биоцентрическую и экоцентрическую, а также «принципы», содержащиеся в документах Организации Объединенных Наций (ООН) по устойчивому развитию, сохранению природы и необходимости поддержания биологического разнообразия. Все эти концепции подтверждаются также необходимостью соблюдения экологического права при защите окружающей среды и прав человека. Все это — сложные и взаимосвязанные вопросы, и

за последние 30 лет они в различных аспектах поднимались на международном уровне. Особенно важной являлась концепция устойчивого развития, включающая признание необходимости защиты всех природных биологических ресурсов. Такие теории приобрели глобальное распространение со времени «Конвенции Рио» в 1992 г. и, следовательно, со времени выхода в свет *Публикации 60* МКРЗ в 1991 г. Подобным образом постоянно изменяются подходы к оценке экологических рисков и управления ими, и такие изменения неизбежно должны быть отражены в документах Комиссии, изменяющих её точку зрения на защиту живых организмов\*.

Если МКРЗ намерена развивать более полный подход к защите живой природы, необходимо также пересмотреть существующие базы данных и их интерпретацию. Большая часть нашей информации по дозам и воздействию радиации накапливалась, исходя из необходимости радиационной защиты человека. Вероятно, что наиболее важный первый шаг, который необходимо предпринять, — описать различия в характере радиационных эффектов — у индивидуумов, среди различных видов животных и растений. Для человека, главной заботой которого является охрана его здоровья, это достигается разделением эффектов на стохастические или детерминированные. Но для того, чтобы применить аналогичный подход к живым организмам\*, знаний недостаточно, за исключением некоторых млекопитающих. Считается поэтому, что более целесообразным является подход, в котором действие радиации на индивидуума описывается в категориях, носящих экологическую окраску: индуцированная преждевременная смертность (от любых причин), некая форма заболеваемости или снижение репродуктивных потенций. Степень, в которой такие эффекты могли бы, в свою очередь, иметь важные последствия для популяции, сообщества или даже целых экосистем, зависела бы от большого количества факторов, включая не только число индивидуумов, различным образом подвергнутых воздействию радиации, но и многие другие факторы, не относящиеся к ионизирующей радиации.

Важной проблемой для МКРЗ будет, очевидно, проблема объединения всех подходов к охране окружающей среды и защите человека, с учетом того, что защита человека — также предмет более детального текущего исследования. Соответственно, за последнее время был выдвинут ряд различных предложений и развиты теории, касающиеся защиты окружающей среды от ионизирующих излучений как на национальном, так и на международном уровнях. Значительный прогресс достигнут за последние несколько лет в развитии большого числа методов оценки доз для разных животных и растений в различных средах обитания. Также было организовано тесное взаимное сотрудничество среди ученых из многих стран, поощрявшееся МСР и в отдельных случаях получившее финансовую поддержку международных организаций, таких как Европейская комиссия. Был выполнен ряд государственных программ и, по меньшей мере в одной стране — США, установлена юридическая основа применения предельных доз в отношении окружающей среды вблизи некоторых ядерных комплексов. Следовательно, уже сделано довольно много. Но хотя такие программы имеют немало схожего, им присущи значительные расхождения и, наконец, они могут основываться на различных принципах и подходах и привести к разным научным выводам. Тем не менее, общим для многих из них, опять-таки, является концепция «референтных» моделей и наборов данных.

Поэтому МКРЗ рекомендовано выбрать небольшое число референтных видов животных и растений и создать соответствующие базы данных (аналогичным образом, как и для человека) в качестве основы для более глубокого понимания и объяснения связи между облучением и дозой, а также между дозой и некоторыми категориями эффектов для немногих, четко обозначенных видов животных или растений. Было бы по-

лезно, если величины доз, относящиеся к этим эффектам, можно было представить «зонным» способом, таким как описанный метод «предложенных уровней рассмотрения» (derived consideration levels), аналогичный тому, который рассматривался для человека. Такой набор данных впоследствии может служить основой, на которой национальные органы могли бы применить, в случае необходимости, более прикладные и специфические численные подходы к оценке рисков и управления ими для живых организмов\* при возникновении соответствующих ситуаций и в национальных интересах.

В этом отношении также признано, что такие подходы к оценке и управлению изменяются от ситуации к ситуации и каждый из них может являться лишь частью существующих крупных программ по управлению окружающей средой. Оценки могут, следовательно, проводиться по многим различным причинам, и ситуации могут управляться разными способами. Указанная выше деятельность обязательно будет интегрирована в другие стороны планирования и действий, которые, как можно ожидать, отличаются от страны к стране. Во многих случаях такая деятельность уже очерчена или ограничена существующим законодательством.

В заключение подчёркивается, что МКРЗ может и должна играть ключевую роль как в проведении консультаций по общим международным подходам, так и в базовом описании существующих научных знаний в отношении ионизирующей радиации для того, чтобы такой общий подход был принят. Существует настоятельная необходимость, чтобы Комиссия внесла свой вклад, дав рекомендации по защите живых организмов, исключая человека. Для этого нужно провести изменения в её структуре и рабочей программе при первой же возможности.



# 1. Введение

## 1.1. Цели

- (1) Цели этого отчета — обратиться со специальными запросами к МКРЗ в следующей форме:
- определения, каким образом МКРЗ может содействовать достижению целей общества по защите окружающей среды путем совершенствования политики защиты, основанной на научных и этико-философских принципах;
  - обоснования рамочной программы оценки воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду, базирующейся на научных принципах, для выполнения требований по защите окружающей среды от вредных воздействий ионизирующих излучений; и
  - демонстрации, каким образом такие предложения по оценке воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, исключая человека, могут быть интегрированы в общую систему радиационной защиты или стать её частью.

Этот отчет был подготовлен в свете последней всеобъемлющей серии рекомендаций МКРЗ по радиационной защите, изложенных в *Публикациях 60, 77, 81 и 82* (ICRP, 1991, 1998 a,b, 1999).

## 1.2. Общие задачи

### 1.2.1. Круг обсуждаемых проблем

- (2) МКРЗ прежде не занималась проблемами защиты окружающей среды в явной форме. Воздействие радионуклидов на живые организмы\* рассматривалось только в той степени, в которой это связано с радиационной защитой человека. Следовательно, нет рекомендаций МКРЗ типа: почему или как проводить защиту окружающей среды от радиации, или какие предельные дозы (если таковые есть) должны применяться к другим организмам. МКРЗ в настоящее время пересматривает свои существующие рекомендации с целью их развития в XXI веке. В этом отчёте приводятся концептуальные рамки для оценки радиационного воздействия на окружающую среду, которые могли бы обеспечить формирование последующего пакета рекомендаций и поддержать усилия общества по защите окружающей среды.
- (3) Отношение к защите окружающей среды определяется влиянием целого спектра культурных, этических и философских принципов и точек зрения, и в этой области был достигнут существенный прогресс со времени подготовки *Публикации 60* (ICRP, 1991). Растущая озабоченность общественности очевидной опасностью для окружающей среды привела к появлению большого числа государственных и международных дополнений к законам об охране окружающей среды. Эти поправки отражают общепризнанное мнение, что также необходимо убедительно продемонстрировать защищенность биоты и экосистем от действия ионизирующих излучений, и причём это может быть часто сделано на законодательном уровне (например, Coplestone et al., 2001; Holm et al., 2002).
- (4) Окружающая среда состоит из биотических и абиотических компонентов, которые совместно формируют систему. Человек является частью этой системы и взаимодействует как с ее живыми, так и неживыми компонентами. Облучение живых организмов — наиболее важный феномен среди явлений, связанных с воздействием излучений в окружающей среде. Данный отчёт сфокусирован на живые организмы (биотическая составляющая окружающей среды) и воздействие радиации на них. В качестве дополни-

тельных тем в рекомендациях Рабочей группы обсуждаются общественная значимость предотвращения выбросов, принципы их предупреждения и т.п., но способы достижения ряда целей в пределах решения указанных задач выходят за рамки данной работы.

- (5) Отчёт ориентирован на МКРЗ и характеризует роль, которую Комиссия может играть в этой важной развивающейся области, построенную на подходе, развитом для защиты человека, и специальных областях экспертизы, входящих в компетенцию МКРЗ, а именно, защите от радиации. Этот подход независим от решения государственных или политических вопросов. Отчет, следовательно, не дает указаний о том, какие шаги или меры должны быть предприняты на государственном уровне или же каким образом должно осуществляться управление и регулирование промышленности или окружающей среды. Вместо этого в нем анализируется и предлагается, что может быть сделано МКРЗ на уровне современных знаний для разработки обоснованной системы взглядов, референтных методологий, моделей и баз данных, потенциально служащих в качестве общей основы развития более детальных подходов для постановки большого количества вопросов, которые возникли и будут возникать в отношении оценки воздействия радиации на живые организмы\*.
- (6) Рабочая группа пришла к выводу о необходимости систематического подхода при радиологической оценке живых организмов\* для того, чтобы обеспечить научную основу управления радиационными эффектами в окружающей среде. Рабочая группа рекомендует МКРЗ развивать фундаментальные принципы (рамки) радиологической оценки живых организмов\*, причём эти принципы должны находиться в согласии с предложенным подходом к защите человека. Для этого понадобятся согласованная система количественных параметров и единиц, система референтных дозовых моделей, референтные данные для доз на единицу поступления радионуклидов и референтные организмы. Рабочая группа рекомендует МКРЗ в качестве первого шага создать небольшой набор видов фауны и флоры с тем, чтобы в последующем можно было разработать специфические для отдельных ареалов и ситуаций подходы к оценке рисков и управления ими для живых организмов\*.
- (7) В отчете Рабочая группа не ставит целью определение предельных доз на биоту или выработку рекомендаций, что защищать и какие уровни риска считать допустимыми. Предложенная система не ставит задачу устанавливать правовые стандарты. Рабочая группа скорее рекомендует основные принципы, которые могут быть использованы в качестве практического инструмента для обеспечения рекомендациями и руководством операторов, а также для демонстрации соответствия этих рекомендаций и руководства существующему законодательству. МКРЗ относит обоснование и оптимизацию её рекомендаций на начало XXI века, и тогда будет решено, каким образом защита других видов влияет на концепции МКРЗ.

### 1.2.2. Содержание

- (8) В следующем за введением разделе 2 приводится общий взгляд на то, как экологические риски понимаются и оцениваются обществом и как они соотносятся с современными теориями экологической этики и некоторыми важными принципами защиты окружающей среды в целом. Раздел 2 также содержит краткое резюме того, как в настоящее время международными организациями и национальными властями развивается радиационная защита окружающей среды. Раздел 3 дает краткое введение в понятия радиации и живых организмов, а раздел 4 исследует, в какой степени действующее утверждение МКРЗ, изложенное в 16-м параграфе *Публикации 60* («Комиссия считает, что соблюдение стандартов контроля окружающей среды, необходимых для защиты человека в той мере, которая признается в настоящее время желатель-

ной, обеспечит также отсутствие риска и для других видов живых организмов»), соотносится с современными взглядами на окружающую среду. В разделе 4 также приводится ряд причин, по которым МКРЗ нуждается сейчас в рассмотрении основы, на которой она сможет более точно определить свое место и будущую роль в отношении защиты части окружающей среды, а именно — живых организмов\*. В разделе 5 представлены различные подходы к оценке экологических рисков от вредных радиационных воздействий. Предложенная система составлена так, что она может быть объединена с подходом, принятым для защиты человека, и методами, уже используемыми или находящимися в развитии в некоторых странах. В разделе 6 обсуждаются эти аспекты, включая разъяснения, какая еще необходима дальнейшая работа. В разделе 7 приведены некоторые заключительные замечания.

### 1.3. Предпосылки

- (9) В 70-е годы МКРЗ полагала, что главная идея в радиационной защите видов живых организмов, не относящихся к человеку, заключается в том, чтобы их просто защитить как виды или большие популяции, но не как индивидуумы. Поскольку ориентиры в радиационной защите человека заключаются в сохранении индивидуальных рисков очень низкими, МКРЗ пришла к выводу, что это, вероятно, удержит уровни облучения в общем настолько низкими, что другие виды, живущие в той же окружающей среде, всегда будут защищены как виды, если не как отдельные индивидуумы. Этот вывод был сформулирован в 14-м параграфе *Публикации 26 (ICRP, 1977)*: *«Хотя главной целью радиационной защиты является достижение и поддержание соответствующих безопасных условий для деятельности, когда происходит облучение человека, предполагается, что уровень безопасности, необходимый для защиты людей (всех отдельных индивидуумов), соответствует уровню, необходимому для защиты других видов живых организмов, хотя и не обязательно отдельных особей этих видов. Следовательно, Комиссия полагает, что если человек должным образом защищен, то другие живые организмы также вероятно достаточно защищены».*
- (10) Спустя годы Комиссией опубликовано большое число работ, посвященных различным аспектам радиационной защиты человека. Основные принципы текущих рекомендаций Комиссии не направлены непосредственно на защиту окружающей среды. Позиция Комиссии в настоящее время изложена в параграфе 16 *Публикации 60 (ICRP, 1991)*: *«Комиссия считает, что соблюдение стандартов контроля окружающей среды, необходимых для защиты человека в той мере, которая признается в настоящее время желательной, обеспечит также отсутствие риска и для других живых организмов. Иногда отдельным особям живых организмов\* может быть причинен вред, но не в степени, угрожающей целому виду или ведущей к дисбалансу между видами. В настоящее время работа Комиссии касается окружающей человека среды только в вопросах переноса радионуклидов через окружающую среду, так как это непосредственно влияет на радиационную защиту человека».*
- (11) В более ясном виде эта позиция может быть сформулирована следующим образом:
- Система защиты МКРЗ гарантирует защиту человека. Эта система не связана с пределами доз.
  - Использование этой системы защиты иногда может причинить вред отдельным особям живых организмов\* или привести к их смерти. Позиция Комиссии — считать допустимыми эти ограниченные последствия.
  - Хотя экологическая информация и недостаточна, не считается, что применение системы защиты в полном объеме представит угрозу целому виду или нарушит межви-

довой баланс. Если бы это было не так, то политика Комиссии потребовала бы дополнительных ограничений.

- (12) Этот подход не был ясно изложен и был неправильно истолкован в том смысле, что сами по себе дозовые пределы Комиссии были бы достаточны для защиты живых организмов\*. МКРЗ не утверждала, что предельные дозы были бы достаточны для этой цели. К тому же МКРЗ не занимается радиационной защитой окружающей среды в явной форме, хотя состояние живых организмов\* вполне может использоваться в качестве косвенного критерия защиты в результате контроля за содержанием радионуклидов в окружающей среде, проводимого в качестве составляющей системы радиационной защиты человека. Хотя методы и подходы по радиационной защите биоты уже существуют или разрабатываются в отдельных странах, рекомендации по принципам соответствующих оценок, методологии или руководства по радиационной защите окружающей среды, подготовленные МКРЗ, отсутствуют. В частности, МКРЗ не дает рекомендаций в отношении того, должны ли рассматриваться обоснование или оптимизация в случаях защиты живых организмов\*, или же какие дозовые пределы (если таковые есть) и при каких обстоятельствах должны бы или могли бы применяться к биоте.
- (13) Обеспокоенность общественности экологическими рисками оказывает давление на политиков и регулирующие органы с тем, чтобы была определена такая стратегия защиты, которая конкретно и явно включала бы окружающую среду; это подтверждается растущим числом международных и национальных юридических обязательств. Это отражает как необходимость защиты окружающей среды с тем, чтобы обеспечить её устойчивое состояние, пригодное для существования человека, так и заботу о самой окружающей среде. В свою очередь это беспокойство — результат тревоги в связи с возможным воздействием ионизирующих излучений на окружающую среду, равно как и желание защитить окружающую среду одновременно от широкого спектра вредных воздействий. Более многосторонняя забота об окружающей среде требует во все возрастающей степени разработки стратегии её защиты, которая была бы применимой к радиации, так же как и к другим загрязнителям.

### 1.3.1. Роль международных организаций

- (14) Большое число международных организаций занимается радиационной защитой человека, а в случае охраны окружающей среды их даже больше. Поэтому полезно сначала дать краткое описание того, как эти организации работают и соотносятся друг с другом.
- (15) Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН, UNSCEAR) — это орган в системе ООН (UN), имеющий мандат Генеральной Ассамблеи, чтобы оценивать уровни ионизирующих излучений и воздействие их на здоровье человека, а также распространять эту информацию. НКДАР ООН был основан Генеральной Ассамблеей ООН в 1955 г. Он состоит из представителей 21 государства и регулярно публикует полные отчеты по уровням и воздействию радиации на здоровье. Правительства и организации всего мира полагаются на оценки НКДАР ООН как на научную основу для определения радиационных рисков для человека, установления стандартов радиационной защиты и безопасности и управления источниками ионизирующих излучений.
- (16) МКРЗ (ICRP) — это независимая зарегистрированная благотворительная (некоммерческая) организация, основанная в 1928 г. Международным конгрессом по радиологии. Международное общество по радиологии — в прошлом её родительская организация, хотя поле деятельности МКРЗ расширилось от вопросов защиты в радиологии до всех аспектов защиты от ионизирующей радиации. МКРЗ издает рекомендации по принципам радиационной защиты, и её рекомендации формируют основу для более детальных

законов и правил, подготавливаемых другими международными организациями, а также региональными и национальными властями.

- (17) Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ, ICRU) была основана в 1925 г. Международным конгрессом по радиологии. Ее главной целью является развитие международно-признанных рекомендаций относительно количественных параметров и единиц радиации и радиоактивности, процедур, применяемых для измерений и использования этих величин, а также физических данных для этих процедур.
- (18) МАГАТЭ (IAEA) — независимая межправительственная, научно-техническая организация в системе ООН. Она работает как межправительственный форум для научно-технического сотрудничества в ядерной области и международного контроля по применению защитных мер ядерной безопасности и инспекций в рамках невоенных ядерных программ. МАГАТЭ осуществляет помощь входящим в нее странам в работах по планированию и использованию атомной науки и ядерных технологий для различных мирных целей. Она также развивает стандарты ядерной безопасности и способствует продвижению достижений и поддержанию высокого уровня безопасности при применении ядерных технологий, так же как защиту здоровья человека и окружающей среды от ионизирующей радиации.
- (19) Агентство по ядерной энергии (АЯЭ, NEA) — это специализированное агентство в Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР, OECD), межправительственная организация 27 индустриально развитых стран. АЯЭ оказывает помощь входящим в нее странам в поддержке и развитии научной, технической и правовой баз, необходимых для безопасного, экологически благоприятного и экономически обоснованного использования атомной энергии в мирных целях.
- (20) Европейская комиссия (ЕК) является исполнительным органом Европейского союза (ЕС), которая определяет общий курс и ведет международные переговоры по торговле и кооперации. Еврокомиссия инициирует политику Евросоюза и представляет его главные интересы, играя роль гаранта договоров Евросоюза (которые затрагивают среди прочих и вопросы окружающей среды, и радиационную защиту), обеспечивающих правильное применение европейского законодательства. Хотя Еврокомиссия выступает в роли источника политических инициатив, все главные решения по политике, действиям и законодательству предпринимаются министрами государств-членов Европейского союза в совете Евросоюза совместно (или в некоторых случаях, в частности, для решения законодательных вопросов, связанных с Договором Евроатом, после консультаций) с Европарламентом. Роль Еврокомиссии — обеспечить работу ЕС по еще большему объединению стран, входящих в него. Многие акции связаны с радиационной защитой и охраной природы. Несколько директив ЕК регулируют радиационную защиту, и они включены в национальные законодательства стран-членов Европейского союза. Еврокомиссия также оказывает поддержку в проведении радиационных исследований как в отдельных странах-членах ЕС, так и в их совместных проектах.
- (21) Международная ассоциация по радиационной защите (МАРЗ, IRPA) — международная организация, чья главная цель — обеспечить условия, при которых специалисты и организации, занимающиеся радиационной защитой, могли бы общаться, содействуя прогрессу в этой области. Это включает в себя соответствующие стороны таких областей знаний, как наука, медицина, техника, технология, а также право, чтобы обеспечить защиту человека и окружающей среды от опасностей, вызванных радиацией, и таким образом способствовать безопасному использованию в медицине, науке и промышленности радиационных методов на благо человечества. Главная задача МАРЗ — обеспечить и поддержать проведение международных встреч для обсуждения проблем радиацион-

ной защиты. Международные конгрессы самой МАРЗ — наиболее важные из всех этих встреч, проводящиеся примерно каждые 4 года, начиная с 1966 г. МАРЗ также содействует установлению и постоянному рецензированию общепринятых универсальных стандартов по радиационной безопасности или рекомендаций с помощью соответствующих международных организаций.

- (22) Международный союз радиозэкологии (МСР, IUR) — неправительственная организация, предназначенная для оценки результатов и достижений в области радиозэкологии и ознакомления с этими достижениями широкой аудиторией.

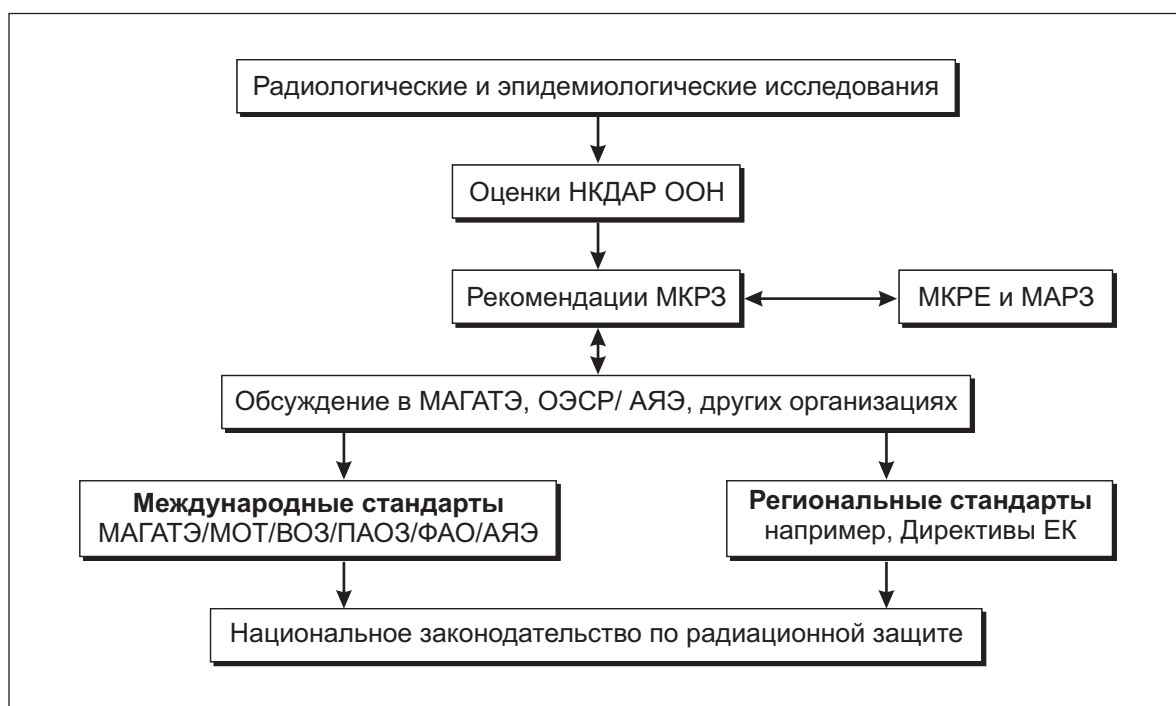


Рис. 1.1. От научных исследований — к нормативам по радиационной защите человека

- (23) Все эти международные организации различным образом связаны друг с другом (рис. 1.1). Вкратце, НКДАР ООН оценивает результаты исследований, опубликованные в научной литературе. Впоследствии эти оценки используются МКРЗ как основа для собственных рекомендаций по радиационной защите. МКРЗ также обменивается информацией и мнениями с МКРЕ и МАГАТЭ. МАГАТЭ интерпретирует и преобразует рекомендации МКРЗ в нормы безопасности и практические руководства по радиационной защите в сотрудничестве с другими организациями, такими как Международная организация труда (МОТ, ILO), Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ, WHO), Пан-Американская организация здравоохранения (ПАОЗ, PAHO), Сельскохозяйственная и продовольственная организация (ФАО, FAO). На региональном и национальном уровнях рекомендации МКРЗ обычно используются в качестве основы для разработки соответствующего законодательства по радиационной защите.
- (24) В вопросах защиты окружающей среды при определении научной, этической и правовой основ системы защиты и необходимости каких-либо стандартов играют роль дополнительные международные организации, например, Программа по окружающей среде ООН (UNEP) и Международный союз сохранения природы и природных ресурсов (IUCN).

## 1.3.2. Радиация и окружающая среда

- (25) В настоящее время не существует международно признанных критериев или общих положений, прямо направленных на защиту окружающей среды от действия ионизирующих излучений, хотя большое число международных соглашений и законодательных актов предусматривает защиту от загрязнений вообще, включая радиацию. Несколько международных конвенций и процедур, так же как и государственных положений и правил тоже указывают на необходимость развития специальных методов и критериев для поддержки решений по охране окружающей среды. Таким образом, хотя действующая система МКРЗ по защите человека косвенно отражает какой-то уровень защиты популяций других видов, существующий в настоящее время подход лишен прозрачности, а распределение радионуклидов в выбросах всегда будет таким, что биота будет облучена в дозах, отличных от тех, которые получают люди. Отсутствие как общего подхода, так и технической основы для оценок, критериев или нормативов, одобренных на международном уровне, делает очень сложным определение или подтверждение того, достаточно ли защищена среда от возможного воздействия радиации в различных условиях. Разработка на международном уровне соответствующих документов по оценке последствий воздействия радиации на окружающую среду поддержала бы и обеспечила прозрачность принятия решений. Как упоминалось ранее, этими вопросами в последнее время занимались во многих странах с целью развития или детализации подходов радиологической оценки окружающей среды. Ряд существующих инициатив и разработок международных организаций и агентств, так же как и национальных регулирующих органов, следовательно, уже обеспечивают начальную информацию и направление для успешного продолжения работы.
- (26) В нескольких международных конвенциях подчеркивается необходимость защиты окружающей среды от радиации. Совместная Конвенция о безопасном обращении с отработавшим ядерным топливом (Waste Convention, 1997) была принята в сотрудничестве с МАГАТЭ. Конвенция была одобрена в 1997 г. и вступила в силу в июне 2001 г. Она направлена на защиту человека (на уровне индивидуумов), общества и окружающей среды от вредного воздействия радиации и включает в себя следующее утверждение: *«Каждая из участвующих сторон будет предпринимать соответствующие шаги на каждом из этапов обращения с отработавшим топливом (обращения с радиоактивными отходами), чтобы человек (на уровне индивидуумов), общество и окружающая среда были адекватно защищены от радиационной опасности».*
- (27) В качестве части OSPAR Конвенции о защите морской окружающей среды Северо-Восточной Атлантики (OSPAR, 1992) страны-участницы согласились *«предпринять все возможные меры для предотвращения и исключения загрязнений и сделать необходимые шаги для защиты морской акватории от вредного воздействия человеческой деятельности с целью охраны здоровья человека и сохранения морской экосистемы».* Далее, на заседании на министерском уровне OSPAR Комиссии в Синтре в 1998 г. (OSPAR, 1998), касаясь OSPAR стратегии в отношении радиоактивных веществ, принято решение, что целью является *«предотвращение загрязнения морской акватории источниками ионизирующих излучений с помощью нарастающего и существенного уменьшения сбросов, эмиссии и поступления радиоактивных веществ в окружающую среду, ставя основной целью достижение концентрации естественных радиоактивных веществ равной природным уровням, а содержания искусственных радионуклидов близким к нулю».* На практике эта стратегия означает, что к 2002 г. сбросы, эмиссия и поступление радионуклидов в окружающую среду должны быть сокращены до состояния, когда связанные с этим дополнительные концентрации радионуклидов в морской среде выше исторического уровня будут близки к нулю. Эта стратегия также предлагает

OSPAR Комиссии предпринять шаги по разработке экологических критериев для защиты морской окружающей среды, чтобы исключить неблагоприятные эффекты, связанные с радиоактивными веществами, и подготовить соответствующий доклад к 2003 г.

- (28) Цель действующих *«Международных основных стандартов безопасности для защиты от ионизирующего излучения и по безопасности источников излучения»* (IAEA, 1996) ограничивается защитой человека, и, следуя линии МКРЗ в *Публикации 60*, формулируется следующим образом: *«нормы защиты, отвечающие требованиям для достижения этой цели, также гарантируют, что никакие другие виды живых организмов не будут находиться под угрозой как популяция, даже если отдельным особям этого вида может быть причинен вред»*. Однако, Основы безопасности МАГАТЭ *«Принципы обращения с радиоактивными отходами»* (IAEA, 1995) включают требование, чтобы *«обращение с радиоактивными отходами было таким, чтобы обеспечивался приемлемый уровень защиты окружающей среды»*. Другие принципы отражают заботу об устойчивом развитии и праве других государств на консультации.
- (29) Вопросы охраны окружающей среды также в явной форме ставились МАГАТЭ в связи с несколькими другими случаями. В 1970 г. группа экспертов созывалась МАГАТЭ для оценки критериев ограничения сброса радиоактивных отходов в моря. Среди прочего эта группа рекомендовала продолжить *«изучение влияния ионизирующей радиации на организмы и на их чувствительные периоды жизни, уделяя особое внимание последствиям на генетическом уровне, а также на уровне популяции и экосистемы»* (IAEA, 1976). Впоследствии по этой теме было проведено несколько совещаний экспертов, в результате которых был опубликован отчет *«Воздействие ионизирующей радиации на водные организмы и экосистемы»* (IAEA, 1976). В других трудах МАГАТЭ, направленных на поддержку Лондонской Конвенции 1972 г., изучено возможное воздействие глубинного захоронения в моря контейнеров с радиоактивными отходами на морские организмы, и в 1979 г. МАГАТЭ опубликовало отчет *«Методология оценки воздействия радиоактивности на водные экосистемы»* (IAEA, 1979). В следующем отчете *«Оценка воздействия глубинного размещения низкорadioактивных отходов в моря на биологические морские ресурсы»* (IAEA, 1988) обсуждались дозы для ряда «типичных» морских видов, живущих в придонной области и на дне моря. В 1992 г. МАГАТЭ был опубликован отчет *«Действие ионизирующей радиации на растения и животных при уровнях, соответствующих действующим стандартам радиационной защиты»*, посвященный влиянию радиоактивных выбросов на наземную и пресноводную окружающую среду (IAEA, 1992).
- (30) В 1999 г. МАГАТЭ опубликовало отчет *«Защита окружающей среды от воздействия ионизирующего излучения»* (IAEA, 1999), в котором освещаются различные вопросы и подходы к разработке рамочных принципов и критериев защиты окружающей среды. Недавно опубликован отчет (IAEA, 2002a) *«Этические соображения в защите окружающей среды от ионизирующего излучения»*. МАГАТЭ продолжает работы по подготовке документации по нормам радиационной безопасности по защите окружающей среды в сотрудничестве с другими международными организациями. Также МАГАТЭ продолжает способствовать информационному обмену, организуя совещания специалистов по этой теме, самая последняя из которых проводилась в ноябре 2001 г. (IAEA, 2002b).
- (31) Участники этого совещания согласились с тем, что *«необходимо развивать систему радиационной защиты окружающей среды (или ее биотической составляющей)»*. Совещание экспертов видит необходимость *«проводить различия между защитой биоты и защитой окружающей среды, которая включает и абиотические компоненты. Однако, признано, что изначально внимание должно быть сосредоточено на защите биоты»* и признает необходимость международного сотрудничества и координации



(IAEA, 2002b). В своем отчете Генеральному директору совещание призвало МАГАТЭ «продолжить работу по развитию стандартов безопасности, являющихся рациональной базой» и охарактеризовало МАГАТЭ «как организацию, играющую потенциально значимую роль в рассмотрении того, каким образом воздействие, проявляющееся на индивидуумах, выражается на высших организационных уровнях (популяции, сообщества, экосистемы), и в сборе и анализе коэффициентов (факторов) переноса от различных источников». Совещание согласилось с тем, что «использование референтных организмов является рациональным подходом для перенесения его на систему защиты биоты от воздействия радиации». Совещание признало, что «воздействие на высоком уровне организации (т.е. популяции) происходит через влияние на отдельные организмы, и что обычно доступными являются данные по воздействию на индивидуумов, а не на более высоких уровнях организации» (IAEA, 2002b).

- (32) В 1996 г. НКДАР ООН опубликовал обширный отчет по воздействию радиации на окружающую среду с учетом некоторых проблем, с которыми приходится сталкиваться в дозиметрических и качественных показателях для живых организмов\*, опыта экспериментальных исследований, наблюдений, проводившихся на реальных площадках в окружающей среде в результате плановых выбросов, а также работ, выполненных после выбросов вследствие аварийных событий (UNSCEAR, 1996). Этот отчет подводит итог большой работы, проделанной в данном направлении за десятилетия, и является базовым научным документом для развития стандартов и рекомендаций для регулирующих органов.
- (33) ОЭСР/АЯЭ суммировала экологические и этические принципы окончательного геологического захоронения отходов (OECD, 1995) и недавно пришла к выводу о необходимости уточнения существующей в настоящее время точки зрения МКРЗ по защите окружающей среды (OECD, 2000). Агентство по ядерной энергии (АЯЭ) в сотрудничестве с МКРЗ организует три международных форума для обсуждения проблем по радиационной защите окружающей среды. Первый такой форум состоялся в феврале 2002 г.; его участники из 20 стран и 7 международных организаций представляли регулирующие органы, политиков, ученых, промышленность, международные организации, такие как МАГАТЭ, ЕК, ВОЗ, МОТ, и неправительственные организации, такие как МКРЗ и Гринпис Интернейшнл, с целью создания убедительной технической базы и разработки критериев для рекомендаций МКРЗ по радиационной защите окружающей среды (OECD, 2002). На этих совещаниях будет обсужден широкий спектр проблем, интересующих многих. Это обеспечит уверенность в том, что рекомендации Комиссии по защите окружающей среды будут хорошо сбалансированы для пользы общества и самой среды и окажутся в целом весьма полезны в общей системе защиты.
- (34) В 1997 г. МСР выполнил работу по договору для ЕК. Первые результаты были опубликованы в 2000 г., и был сделан вывод о срочной необходимости разработки основных положений по защите живых организмов\*, чтобы структурировать сведения, полученные в результате предыдущих исследований (Pichet, 1998; Strand et al., 2000). Был сформулирован первичный подход к определению направлений будущих научных исследований по проблемам радиационной защиты, включающий разработку и совершенствование соответствующих количественных параметров и единиц, референтных организмов, моделей переноса в окружающей среде, референтных дозиметрических моделей и табулирования данных «доза-эффект» для референтных организмов. МСР занимается сбором результатов исследований и определением приоритетов в будущей работе, а также явился одним из организаторов «Согласительной конференции по защите окружающей среды» в октябре 2001 г. Совместное заявление этой конференции (IUR, 2001) включает следующие руководящие принципы: «Люди являются неотъемлемой ча-

стью окружающей среды. Хотя можно пока спорить о том, что этически оправдано учитывать человеческие ценности и потребности как привилегию людей, необходимо также обеспечить соответствующую защиту окружающей среды. Кроме научных данных, выработка курса по защите окружающей среды должна включать социальные, философские, этические (в том числе честное распределение ущербов/выгод), политические и экономические соображения. Выработка такой политики должна проводиться открыто, прозрачно и с возможностью участия в ней. Одни и те же общие принципы защиты окружающей среды должны применяться ко всем загрязнителям».

- (35) В 1997 г. Арктический совет (куда входят скандинавские страны, Российская Федерация, Канада, США) указал на необходимость разработки основных направлений в оценке и развитии работ по защите окружающей среды в Арктике. Это привело к созданию программы на период 1998–2002 гг., и отчет был одобрен конференцией министров Арктического совета в октябре 2002 г. в Финляндии. По этому вопросу Арктический совет объединился с МСР и ЕК и утвердил намерение изначально сфокусироваться на защите биоты и использовании референтных организмов. Проблема защиты окружающей среды (с начальным акцентом на защите биоты) также обсуждалась на Конференции министров по Северному морю в апреле 2002 г. Эта конференция одобрила продолжающуюся работу МСР и других организаций по достижению международного согласия в определении основных направлений защиты окружающей среды.
- (36) Существует ряд директив ЕК, относящихся к радиационной защите и защите окружающей среды, несмотря на то, что главные стандарты безопасности ориентированы на население и персонал (96/29/директива EURATOM, СТС, 1996а) и фокусируются на дозах для человека и его защите. Примерами соответствующих европейских директив по защите окружающей среды являются Конвенция по предотвращению и контролю интегральных выбросов (СЕС, 1996b), Конвенция по сохранению природной среды обитания и дикой фауны и флоры (СЕС, 1992), Рамочная конвенция по водным ресурсам (СЕС, 2000) и Директива 85/337/ЕЕС по воздействию некоторых проектов на окружающую среду (СЕС, 1985). Согласно последней директиве, прежде чем дать согласие на развитие проектов, те из них, которые способны оказать значительное воздействие на окружающую среду (из-за их типа, размера, расположения), должны стать объектом оценки этого ожидаемого воздействия. Эта оценка должна включать людей, фауну, флору, небиотическую составляющую окружающей среды (почву, воздух, воду), материальные фонды и культурное наследие, а также учитывать взаимодействие этих факторов. Результаты исследований целей и приложений Директивы 85/337/ЕЕС, особенно в связи с геологическим захоронением радиоактивных отходов, были представлены на конференции МАГАТЭ по безопасному обращению с радиоактивными отходами в Кордове, Испания, в 2000 г. (Webster, 2000). Требование оценки воздействия на окружающую среду для крупных проектов продемонстрировало «наилучшее применение на практике» и сделало возможным рассмотрение пользы гармонизации подходов в различных странах.
- (37) Ввиду растущего в Евросоюзе осознания необходимости создания системы, подтверждающей защищенность окружающей среды и выполнения текущей работы по проверке защищенности биоты, ЕК финансирует научные исследования в этой области (Strand and Larsson, 2001). Например, программа «Основные направления оценки воздействия на окружающую среду (FASSET)» нацелена на разработку научной основы для определения вероятности радиационного повреждения биоты с точки зрения защиты человека и окружающей среды. В настоящее время также выполняется исследование «Защита окружающей среды от ионизирующих излучений в Арктике (EPIC)», также финансируемое ЕК, в котором изучается перенос радионуклидов в окружающей

среде в Арктике, моделируется их поглощение биотой, устанавливается референтная биота для оценки потенциальных доз и соотношений доза-эффект и интегрируются оценки воздействия на окружающую среду с определением влияния других загрязнителей.

- (38) Важные результаты получены в работах по национальным программам, особенно в США, Канаде, России, Великобритании и Франции. Однако только в одной стране — США, государственным учреждением — Департаментом по энергетике США (USDOE) — разработаны требования и руководства по радиационной защите окружающей среды, в настоящее время действуют максимально допустимые дозы облучения для защиты водной биоты и предложены предельные дозы для защиты наземной биоты (USDOE, 1996) для некоторых предприятий Департамента по энергетике США. Развитые этим учреждением методы отбора, использующие систему референтных организмов в рамках градуированного подхода для изучения защищенности биоты, применимы для справочных документов, отражающих зависимость эффектов от дозы облучения. Кроме того, в 2003 г. ожидается получение результатов текущих международных исследовательских проектов FASSET и EPIC, которые позволят разработать в систематизированном виде основные направления — при использовании «подхода референтных фауны и флоры» — для оценки воздействия на окружающую среду в различных экосистемах. Канадская комиссия по ядерной безопасности (CNSC) в своей стране работает в аналогичном направлении со справочным руководством, базирующимся на интегрированной основе по оценке воздействия ионизирующей радиации и других загрязнителей окружающей среды на живые организмы\* (Bird et al., 2003). Эти основы формируют научно обоснованный подход для оценки влияния на окружающую среду и могут использоваться в информационных и иных целях менеджерами и другими ответственными лицами. Полагают, что результаты этих программ вместе с итогами других национальных и международных работ внесут вклад в разработку международных рекомендаций и правил. Достижение широкого международного согласия и включение рекомендаций и правил в национальные законодательства, следовательно, планируются после 2003 г.
- (39) В заключение, по-видимому, следует отметить, что в обществе явно виден сдвиг от долго державшегося антропоцентрического подхода к окружающей среде к подходу, который включает и её биотическую и небиотическую компоненты. Все недавние конвенции, принципы, отчеты и заявления поддерживают широко признанную теперь точку зрения о необходимости убедительно доказать, что окружающая среда может быть и будет защищена от воздействия радиации.

## 2. Современные принципы управления окружающей средой

### 2.1. Как в настоящее время обществом рассматриваются экологические риски?

- (40) Экологические риски, их описание и управление ими относятся к элементам современной жизни. Окружающая среда, частью которой мы являемся, в значительной степени управляема как в отношении того, что мы из нее берем, так и того, что мы в нее вносим в результате фактически всей повседневной деятельности. Вместе с тем масштабы человеческого воздействия таковы, что предпринимаются те или иные меры для «защиты» окружающей среды. Эти шаги не являются обязательно скоординированными, и разумно задать вопрос: что же в действительности означает *защита окружающей среды*? Этот вопрос также не относится к числу чисто научных, так как ответ на него может быть дан только со ссылкой на качественные и количественные оценки воздействия на окружающую среду, против которого предпринимаются защитные меры. Кроме того, нужно учесть и оценку того, имеют или нет эти контрмеры значение и для кого. Поэтому правильно начать с проверки возможной этической основы — или основ — защиты окружающей среды и их связей с научными и правовыми сторонами этого вопроса. Консультативная группа недавно проделала такую работу для МАГАТЭ (IAEA, 2002a), апробируя свои выводы на ряде встреч экспертов с представителями стран-участниц МАГАТЭ и различных международных организаций, в том числе МКРЗ. Их краткие выводы указаны ниже.
- (41) Этический подход очень важен при разработке таких общих представлений как защита окружающей среды. Даже для защиты человека, необходимость которой является общепризнанной вне всяких сомнений, различные этические проблемы играли и будут играть важную роль. Например, при обеспечении системы защиты от ионизирующих излучений база МКРЗ «ALARA» для оптимизации уровня защиты создавалась в соответствии с «утилитарным» (*utilitarian*) подходом и явилась его следствием, т. е. «самое хорошее для наибольшего числа», тогда как ее ограничения путем использования предельных доз рассматривались как согласующиеся с «деонтологической» (*deontological*) этикой, т.е. правом индивидуумов и обязательствами относительно индивидуума (Shrader-Frechette, 1994; ICRP, 2001b).
- (42) Разные этические точки зрения одинаково влияют на восприятие людьми окружающей среды, их воздействия на неё и решения, как лучше управлять последствиями этих воздействий. Такие различные воззрения привели, в свою очередь, к появлению социальных, культурных, религиозных и правовых различий в мире (Rawls, 1971; De Shalit, 2000). Таким образом, любой систематизированный подход к постановке вопроса, как лучше защитить окружающую среду от ионизирующих излучений, должен согласовывать такие точки зрения как можно точнее.
- (43) В исследованиях МАГАТЭ (2002b) был представлен спектр из трех этических принципов: *антропоцентрического, биоцентрического и экоцентрического*. Эти подходы выявились в результате философских дискуссий — что есть установленная в обществе мораль и почему. По существу и в сильно упрощенном виде эти взгляды можно суммировать следующим образом в форме трёх подходов:
- *антропоцентрического*, в котором главным является человек как единственная моральная ценность, и таким образом забота об окружающей среде проявляется только в той степени, в которой окружающая среда влияет на человека;

- *биоцентрического*, в котором моральная ценность может распространяться и распространяется на отдельных особей других видов, и, таким образом, обязательства относительно этих особей возникают как следствие этого подхода; и
- *экоцентрического*, в котором моральная ценность может охватывать фактически всё в окружающей среде, включая ландшафты — реки и горы, но внимание в большей степени сосредоточено на полноте и разнообразии экосистемы, а скажем, не моральной значимости каждой индивидуальной ее составляющей.

Конечно, существует значительный диапазон точек зрения внутри каждой из этих трех категорий.

(44) Антропоцентрический подход признается наиболее просто, два других воспринимаются сложнее. Биоцентрические взгляды значительно варьируют, но общей чертой многих из них является признание морального долга. Он возникает, например, из возможного научного доказательства, что многие виды животных чувствительны (*sentient*), могут испытывать удовольствие и боль. Результаты такого внимания отражаются в позиции относительно «прав» и «благополучия» животных и, таким образом, в национальных законах — таких, как законы, касающиеся экспериментов над животными или еще каких-нибудь соображениях. Другие биологические характеристики помимо чувствительности также могут считаться достойными внимания, и в некоторых биоцентрических взглядах предполагается, что все отдельные живые существа представляют собой ценность и должны уважаться за сам факт своего существования. Последователи экоцентрического подхода считают, что необходимо оптимизировать благополучие окружающей среды и, хотя они не могут достичь соглашения, как проводить такую оптимизацию, признают приоритет в моральных ценностях за экосистемой. Место человека и степень, до которой он может рассматриваться как имеющий особые «права» относительно прав, предоставляемых другим видам живых организмов и физическим компонентам окружающей среды, также варьируют. Подобные взгляды часто можно отчетливо различить во многих культурах и верованиях. Также необходимо признать, что этические взгляды отдельных личностей могут изменяться на протяжении жизни или при столкновении с различными обстоятельствами. Но такие взгляды также, что важно, в суммарном виде отражаются в социальном, культурном и религиозном уровнях общества.

(45) Тем не менее, имея в виду такие базовые этические различия и разное отношение к окружающей среде, имеет смысл спросить: можно ли найти какую-либо общую основу для согласия в этом вопросе? Консультативная группа МАГАТЭ поставила этот вопрос, исследовав сущность и содержание появившихся за последние годы многосторонних соглашений по окружающей среде, подписание которых не только связано с различными культурами всего мира, но отражается — на национальном уровне — в их разной позиции по отношению к вопросам окружающей среды (IAEA, 2002b). В качестве наиболее подходящих областей для соглашений были выбраны следующие:

- **Устойчивое развитие.** Декларация ООН Рио 1992 г. принесла известность этой концепции (UN, 1992). Устойчивое развитие связано с необходимостью признания независимости экономического развития, защиты окружающей среды, социальной справедливости и, таким образом, с обязательствами защищать и обеспечивать потребности человека, и окружающей среды для сегодняшнего и будущих поколений. Она включает в себя и явно ссылается на ряд других концепций, в том числе и принцип предупреждения.
- **Охрана (*Conservation*).** Разработано большое число международных соглашений о сохранении как видов, так и местообитаний. Они существенным образом связаны с приписываемым отдельным видам ценностью и уязвимостью или с регионами оби-

тания большого числа видов, особенно в том, что касается необходимости принятия соглашения на международном уровне для их защиты; например, для мигрирующих видов необходимо обеспечить безопасность перемещений и выживания повсюду в местах их природной миграции.

- **Сохранность (*Preservation*).** Сохранность признает ценность нетронутой природы, как не зависящую от потребностей человека. Сторонники сохранности утверждают ценность дикой природы, не тронутой и подверженной деградации в результате деятельности человека и разработки ресурсов; они утверждают, что дикая природа — это важная культурная ценность не только сама по себе, но также и в отношении ее стимулирующей роли, духовности и природных систем (NRC, 1993). Во многих странах и в международном масштабе (ЮНЕСКО) принцип сохранности привел к созданию природных заповедников, в которых строго контролируется деятельность человека.
- **Сохранение биоразнообразия.** Это обязательство также происходит из Декларации Рио (UN, 1992) и признает необходимость поддерживать биологическое разнообразие внутри каждого вида, среди различных видов и внутри разных типов мест обитания и экосистем.
- **Экологическое право.** Другая особенность Декларации Рио — ответственность за обеспечение того, чтобы деятельность в пределах национального законодательства или контроля не нанесла вреда окружающей среде других стран. Это, в свою очередь, отражает главный принцип экологического правоведения — необходимость принимать во внимание то обстоятельство, что неравенство может и должно возникать в распределении так называемых «экологических выгод и ущербов». Когда такие различия возникают между государствами, ожидается, что противоречия будут разрешены или перераспределением выгод, или компенсацией ущербов. Такие действия, по общему признанию, больше касаются вопроса, как достичь защиты окружающей среды, а не того, как в действительности определить выгоду или ущерб. Но стоящие за этим концепции очень важны. Неравенство выгод и ущербов по разные стороны границ (например, трансграничные выбросы) относится к концепции *дистрибутивного (distributive)* права, а необходимость возмещения или компенсации за такие выбросы — к концепции *ретрибутивного (retributive)* права. Стоит отметить, что при использовании обеих концепций возможно в явной форме количественно оценить ущерб, причиняемый окружающей среде, а также установить моральную необходимость возместить его или компенсировать каким-то другим способом в случаях, если окружающая среда была нарушена.
- **Значимость человека (*Human dignity*).** Это также концепция, в основе которой лежат международные соглашения. Она — краеугольный камень в Хартии ООН (UN, 1945) и также имеет отношение к концепции защиты окружающей среды, в том числе к её реализации. В этой концепции признается необходимость уважения прав отдельного человека и последовательной системы различных взглядов разных людей. Указанное аксиоматически предполагает, что антропоцентрическая точка зрения должна признавать существование и равную истинность как биоцентрического, так и эоцентрического подходов в обществе, и таким образом применение антропоцентрической концепции требует обязательного принятия во внимание первых двух из названных концепций для достижения консенсуса. Это также предполагает, что будут существовать различные персональные точки зрения — независимо от существующих правовых положений — по поводу путей защиты, которые возможны в настоящее время для других живых организмов, или отдельных особей, или части экосистемы, и как и почему эта защита должна быть организована. К тому же эта

концепция признает, что такая значимость человека может быть подвергнута сомнению и отвергнута из-за нарушения окружающей среды любым из различных способов — таких как *наличие* «ненатуральных» загрязнителей в природной среде, независимо от каких-либо известных воздействий, которые они могут оказывать на живую компоненту окружающей среды, или даже в отсутствие любых живых компонент.

- (46) Как представляется, не существует простых способов извлечения из этих принципов единственной этики для защиты окружающей среды. Но приведенный выше перечень областей поможет очертить концепцию того, что же подразумевается в обществе под защитой окружающей среды и как эту защиту можно реализовать, а внутри концепции можно обсуждать более специфические вопросы.
- (47) Большое число методик и нормативов по защите окружающей среды, развитых за многие годы, не противостоит факту, что наше понимание экологии неполное, как и вообще наши представления о воздействии загрязнителей на окружающую среду. Наиболее подходящие из этих стратегий деятельности можно суммировать следующим образом, хотя существуют варианты их формулировок и практических приложений.
- **Принцип предотвращения загрязнений**, утверждающий, что выбросы должны контролироваться в максимально возможной степени, принимая во внимание социально-экономические факторы.
  - **Предупредительный принцип**, утверждающий, что если существует угроза значительного и необратимого ущерба, недостаток полной научной определенности не может явиться причиной непринятия эффективных мер по предотвращению деградации.
  - **Принцип использования наилучших из доступных методик и технологий**, согласно которому выбросы в окружающую среду должны быть сведены к минимуму путем использования наиболее рациональных технических и управленческих решений из возможных и экономически осуществимых даже в тех ситуациях, где выгоду от таких действий трудно оценить через ущерб окружающей среде или прямую экономическую выгоду (это может относиться и к защите окружающей среды).
  - **Принцип замещения**, согласно которому там, где уже доступны более безопасные альтернативы или они могут появиться на рынке в ближайшем будущем, необходимо их продвигать как замену обсуждаемой деятельности или производимого продукта. Таким образом, возможны изменения, определяемые технологией (выбор наиболее оптимального решения для окружающей среды), для улучшения защиты окружающей среды вместо ожидания подтверждения ущерба.
  - **Принцип «загрязнитель платит»** утверждает ответственность «загрязняющего» за экономические и экологические последствия его деятельности. Это положение впервые широко обсуждалось на Конференции ООН по развитию и окружающей среде, проводившейся в Рио в 1992 г. Все прибывшие представители стран и наций одобрили его.
  - **Принцип информированного согласия**, подчеркивающий необходимость обмена мнениями и общественного участия, начиная со стадии планирования вплоть до принятия решения, для которого нет обратного хода. Такая прозрачность в принятии решения должна обеспечить анализ и понимание всех аргументов поддерживающей стороны, хотя несогласие с мнением ряда этих лиц может быть неизбежно. Прозрачность обычно обеспечивается путем оценки воздействия на окружающую среду.
- (48) Разнообразное применение этих принципов привело к регулированию защиты окружающей среды, сочетающему минимизацию экологических воздействий на основе научных доказательств и предотвращение выбросов в той степени, которая достижима на основе социального и экономического подходов. В хорошей экологической практике

целью должно стать ясное разделение между исследованиями (т. е. оценка воздействия на окружающую среду, включая учет неопределенности и изменчивости) и этапами управления (социально-экономические факторы, влияющие на внедрение смягчающих мер и постановку целей) окружающей средой, хотя в действительности научные и управленческие аспекты не могут быть разделены вследствие неопределенностей и различий в данных, моделях и основных положениях (NRC, 1996).

- (49) Нормативные требования защиты окружающей среды часто формулируются в виде или «отсутствия значительных вредных воздействий на окружающую среду», или что вещества не могут поступать в окружающую среду в количествах, концентрациях или при условиях, которые оказывают или могут оказать немедленное или долгосрочное «вредное» воздействие на саму окружающую среду или на биологическое разнообразие. С помощью этих методов оценки окружающей среды (т.е. определения экологического риска) должна появиться возможность демонстрации достижения таких экологических целей при применении предложенных форм контроля над данным видом промышленной деятельности или описания степени экологического ущерба в том случае, если прогнозируемое нарушение среды произойдет. Это требует в отдельных случаях развития системы контрольных параметров в охране окружающей среды (предельных доз, норм, критериев), которые соответствуют «отсутствию ожидаемых эффектов» в ней и с которыми можно было бы сравнивать предсказываемое или наблюдаемое воздействие на неё. Если реальные или возможные характеристики окружающей среды превосходят эти контрольные параметры, то необходима идентификация (с указанием уровня неопределенности) возможных эффектов.
- (50) Любая рамочная программа по защите окружающей среды, которая развивается в отношении радиации, таким образом, должна учитывать описанные выше принципы и быть согласованной с ними, а также с другими подходами к защите окружающей среды, касающимися нерадиоактивных выбросов от этих же промышленных объектов или иных промышленных источников.

### 2.1.1. Устойчивое развитие

- (51) Конференция ООН по окружающей человека среде, проведённая в 1972 г. в Стокгольме, явилась первой международной конференцией, заложившей принципы защиты и улучшения окружающей человека среды. Затем, в 1980 г., была опубликована Глобальная стратегия сохранения (IUCN, 1980), подготовленная по поручению ЮНЕП и Международного союза по сохранению природы и природных ресурсов (IUCN). Ее целью явилась помощь в достижении устойчивого развития путем сохранения биологических ресурсов, так как было признано, что это существенно для выживания человека и, следовательно, для концепции устойчивого развития. Кроме того, эта стратегия определяет первостепенность проблемы сохранения, а также учитывает главные задачи, связанные с решением этих проблем.
- (52) Далее, в докладе Брундтланд (Brundtland) (Всемирная комиссия по окружающей среде и развитию, 1987) высказано предупреждение мировому сообществу о неотложности перехода к таким формам экономического развития, которые можно реализовать без истощения природных ресурсов или причинения ущерба окружающей среде. Концепция устойчивого развития была сформулирована как «развитие, удовлетворяющее потребности сегодняшнего дня без ущерба возможности будущих поколений удовлетворять их собственные потребности». В общем такое или похожие на него определения были приняты на других международных встречах, а также национальными властными структурами. В этом докладе подчеркнута также необходимость сохранения биологического разнообразия («биоразнообразия»).



- (53) Позднее, в 1992 г., Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио (UN, 1992) сформулировала ряд общих принципов по защите окружающей среды, так называемые Декларация Рио, Конвенция по биологическому разнообразию и Рабочая программа «Повестка дня на XXI век». Декларация Рио подчеркивает, среди прочего, что защита окружающей среды должна стать составной частью концепции устойчивого развития. Конвенция по биологическому разнообразию (UN, 1992) сходным образом также указывает на важность признания факта, что все организмы вносят вклад в структуру экосистемы. Конвенция определила концепцию биоразнообразия как *«разнообразие живых организмов и экологических комплексов, частью которых эти организмы являются, и, следовательно, как разнообразие внутри видов, между видами и экосистемами»*. И Декларация, и Рабочая программа «Повестка дня на XXI век» призывают правительства провести государственную оценку биоразнообразия и разработать стратегию его сохранения и поддержания.
- (54) С 1992 г. концепция устойчивого развития оказывала растущее влияние на большое число решений и практических мероприятий, которые постоянно должны реализовываться на государственном уровне, включая усилия, направленные на защиту окружающей среды. Но сама концепция не определяет непосредственную цель развития, так как эта цель может не оставаться одной и той же в соответствии с изменением потребностей общества и так как возможности защиты и сохранения природной среды тоже могут изменяться. Таким образом, на способность общества к действиям всегда будут накладываться ограничения, в первую очередь связанные с экономическими и социальными причинами, хотя и существуют важные обязательства передать будущим поколениям весь спектр возможностей выбора, который существует на сегодняшний день. Этот акцент на временном измерении является характерным для устойчивого развития. Он также подразумевает, что практические шаги нельзя рассматривать в отрыве от развития различных форм человеческой деятельности.
- (55) Социальные и экономические факторы часто могут приходиться в столкновение. Так, загрязнение низкого уровня в окружающей среде может повлиять на экономические параметры и привести к уменьшению рыночной цены продуктов, производимых в подвергнутом воздействию регионе, даже если ущерб от этого влияния все время находился в допустимых пределах. Опять же, правильная основа для оценки экологических рисков, так же как и рациональная информация населения являются предпосылкой принятия правильных решений. Следовательно, для устойчивого развития необходимо принимать во внимание наравне с экономическими, этическими и социальными факторами также экологические факторы.

### 2.1.2. Биологические ресурсы и биологическое разнообразие

- (56) Защиту здоровья населения и защиту окружающей среды можно рассматривать как дополняющие — или альтернативные — конечные цели в общем подходе к устойчивому развитию. Однако если защита здоровья населения может иметь хорошо определенные границы, то охрана окружающей среды потенциально включает биологические границы в широком диапазоне.
- (57) С точки зрения устойчивого развития, существует две стороны, которые необходимо рассмотреть: поддержание биологического разнообразия и сохранение биоресурсов. Поддержание биологического разнообразия — одна цель для всех действий, направленных на защиту окружающей среды, тогда как сохранение биологических ресурсов необходимо для выживания человека и общего благополучия. Но последние две цели должны быть связаны. Таким образом, 4-й принцип Декларации Рио (UN, 1992) описывает устойчивость в данном контексте как *«...использование биологических ком-*

понентов биоразнообразия таким образом и в такой степени, которые не приведут к долговременному уменьшению биоразнообразия, поддерживая таким образом его способность соответствовать требованиям настоящих и будущих поколений».

- (58) Определение биологического разнообразия, данное в Конвенции по биологическому разнообразию (UN, 1992), также подчеркивает его важность для функционирования различных экосистем, которые в конечном счете образуют окружающую среду, где живет человек. Тем не менее, биоразнообразие не является статичным, оно динамично и постоянно изменяется. Сохранение биоразнообразия, таким образом, не означает консервации в определенном состоянии, а обозначает защиту от вредных эффектов, развитие которых привело к такому изменению биоразнообразия, которое без применения защиты оказалось бы нежелательным. Конференция ООН в Рио определила также биологические ресурсы как «генетические ресурсы, организмы или их части, популяции или любые другие части экосистем, которые имеют реальную или потенциальную ценность для человечества» (UN, 1992).
- (59) Принципы, описанные выше, способствовали разработке международных соглашений и национальных законодательств, в которых содержатся требования по контролю человеческой деятельности, включая выбросы радионуклидов в окружающую среду. Соглашаясь, что любая система радиационной защиты окружающей среды должна соответствовать правовым, этическим и политическим рамкам, установленным обществом, МКРЗ должна спросить себя, какую роль она может играть в достижении общественных целей. Очевидно, что МКРЗ не может играть ту же роль в охране окружающей среды, что она играла и играет в радиационной защите человека, где ее рекомендации формировали основу национальных законодательств. Следовательно, дальнейшие разделы описывают, как специфический опыт МКРЗ в радиобиологии, дозиметрии и т.п. может быть лучше использован для поддержания международных усилий по радиационной защите окружающей среды.

## 2.2. Оценка экологических рисков и управление ими

- (60) Чтобы правильно ориентировать требования общества в отношении защиты окружающей среды, были развиты общие положения для оценки экологических рисков и управления ими. Весь процесс оценки рисков и управления ими можно разбить на три этапа, здесь для удобства названные «формулировкой проблемы», «оценкой риска» и «управлением риском», хотя применение этой градации может изменяться на национальном уровне (Barnthouse, 1995; Jones et al., 2002).
- (61) Этап формулировки проблемы включает научное заключение относительно идентификации источников и вредных веществ, а также возможных эффектов взаимодействия с другими загрязнителями и влияния на некоторые экологические функции. Ясно, что этап формулировки проблемы в значительной, а иногда и в доминирующей степени зависит от взглядов общества на то, что необходимо защищать. Чтобы быть надежными и реальными любые рамки для оценки и управления должны соответствовать требованиям общества. Специальное охранное законодательство может охватывать такие составляющие, как устойчивое развитие, воздух, воду, экосистемы, подвергаемые опасности виды и организмы высокой культурной значимости или экономической важности; всё это оказывает значительное влияние на итоговую формулировку задачи.
- (62) Этап оценки риска включает использование методов анализа доз и эффектов, которые рассматриваются как наиболее подходящие для ранее отмеченных целей. Последний результат — характеристика риска, на который последующая управляющая деятельность должна быть ориентирована.

- (63) Этап управления риском включает любые решения или действия, которые приведут к предотвращению, смягчению или исключению последствий для окружающей среды, т. е. к её защите. Отдельные теории и принципы либо неявно, либо упрощенно принимаются во внимание в развитии современных подходов и правил для защиты окружающей среды. В отличие от современной идеологии защиты МКРЗ, в которой рассматриваются дозы облучения, возникающие вследствие практической деятельности (практики) или вмешательства, развитие подходов к защите окружающей среды привело к учету того, что живые организмы\* одновременно могут подвергаться воздействию многих стрессовых факторов (радиационных, химических, тепловых и т.д.), потенциально характерных для промышленных выбросов.

### 3. Биологическое воздействие радиации на живые организмы, исключая человека

- (64) Основная часть наших знаний о дозах и воздействии ионизирующих излучений относится к радиационной защите человека и была получена для её обеспечения. Большая часть данных по поведению, воздействию и распределению искусственных радионуклидов в окружающей среде также была собрана с этой же целью. Существуют, однако, значительные отличия в способах и путях, которыми виды, отличающиеся от человека, могут подвергнуться воздействию радиации, даже если все — и человек, и биота — находятся в одинаковой среде и в одно и то же время. Следовательно, могут существовать отличия в результирующих дозах, полученных различными растениями и животными, и в мощностях доз, с которыми они подвергаются облучению (на несколько числовых порядков). Разные дозы получают различные ткани и органы. Принадлежность к разным типам излучений, а также связь с внешними и внутренними источниками может привести к тому, что облучаются разные ткани и органы, все это вызовет различные биологические последствия для разных видов животных и растений. Это особенно касается  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих нуклидов. Указанные отличия уже были предметом многих обзоров. Таким образом, этот раздел кратко рассматривает некоторые из общих черт воздействия радиации на живые существа.
- (65) ДНК — основная критическая цель при возникновении биологических радиационных эффектов во всех живых организмах. Это было доказано многими радиобиологическими исследованиями, использовавшими различные типы клеток животных и растений. Диаметр всех молекул ДНК около 2 нм, и, с точки зрения чувствительности структур к поглощению энергии, это приводит к большому сходству в отклике на радиационное воздействие у различных организмов. Таким образом, база данных, которая опубликована по первичным механизмам облучения для человека (UNSCEAR, 1986, 1996, 2000), вероятно, относится также и к другим организмам.
- (66) Ионизирующая радиация индуцирует большое количество различных типов повреждений ДНК, и не все они будут одинаково важны для конечных клеточных эффектов, которые представляют интерес для радиационной защиты. Повреждения, которые могут вести к потере или изменению генетической информации в ДНК во время репарации, рассматриваются как наиболее критические изменения ДНК с точки зрения инактивации клеток, возникновения мутаций, хромосомных aberrаций и клеточной смерти. Особенно важными представляются двойные разрывы, которые, как полагают, с трудом поддаются точному восстановлению (Goodhead, 1994; UNSCEAR, 2000).
- (67) Хотя клетки большинства млекопитающих содержат примерно одинаковое количество ДНК, они обнаруживают различную радиочувствительность. Радиочувствительность также изменяется в зависимости от фазы клеточного цикла, и регуляция клеточного цикла существенно влияет на радиочувствительность. Действительно, догма радиобиологии, сформулированная еще в 1906 г. Бергонье и Трибондо (Bergonie and Tribondeau), утверждает, что клетки радиочувствительны, если они митотически активны, проходят многократные деления и являются функционально недифференцированными.
- (68) У млекопитающих большая часть воспроизводства клеток происходит в костном мозге и тонком кишечнике. Для других тканей, таких как ткани центральной нервной системы, наибольшая радиочувствительность отмечается во время раннего развития, когда растут нейробласты. Можно ожидать, что реакция на облучение этих тканей у млекопитающих и, возможно, у всех позвоночных аналогична реакции у человека. У

других организмов радиочувствительными могут оказаться совершенно другие части растений, обычно — ткани меристемы, расположенные в корнях и верхних частях и, в деревьях, кольцо клеток древесины вокруг центрального ствола. Это поверхностное расположение меристемы делает ее особенно чувствительной к облучению от выпадающих радионуклидов (UNSCEAR, 1996).

- (69) Концепция поглощенной дозы дает хорошее описание поглощения энергии в биологических системах. При малых дозах или низких мощностях дозы будет существовать гетерогенное пространственное распределение поглощенной энергии, а облучение при гетерогенном распределении поглощенной энергии будет приводить к различным биологическим эффектам для одной и той же поглощенной дозы (Van der Stricht and Kirchmann, 2001). Это отличие может быть количественно описано с помощью понятия относительной биологической эффективности (ОБЭ), которое увязывается с определенным биологическим конечным эффектом в конкретных организмах или тканях.
- (70) Для человека радиационный взвешивающий фактор выводится из данных по ОБЭ, но две эти величины сильно различаются. Радиационный взвешивающий фактор — это обобщенный количественный параметр, представляющий все соответствующие конечные эффекты во всех тканях тела, и выведение этого параметра связано со значительными допущениями. Рекомендации Комиссии 1990 г. для человека предлагают радиационный взвешивающий фактор 1 для фотонов и электронов, 5 — для некоторых нейтронов (<10 кэВ и >20 МэВ) и 20 — для  $\alpha$ -частиц (ICRP, 1991)<sup>1</sup>.
- (71) В последнее время проявился большой интерес к использованию аналогичной методологии и параметров для животных и, в первую очередь, для растений при оценке последствий воздействия радиации с высокой плотностью ионизации. Был предложен широкий набор этих параметров (UNSCEAR, 1996; Kocher and Trabalka, 2000; Trivedi and Gentner, 2000; Pentreath and Woodhead, 2001; ACRP, 2002; Thompson et al., 2003).
- (72) Высокие дозы облучения могут убить большое число клеток, нарушая тем самым функцию жизненных органов и тканей. Выше определенной пороговой дозы причиняется *детерминистский* вред, а тяжесть поражения возрастает с дозой. Рак или наследственные эффекты являются *стохастическими*, обычно вызываемыми повреждением в отдельной клетке, и вероятность их появления — но не тяжесть ущерба — предполагается пропорциональной дозе в области малых доз и низких мощностей доз. Следовательно, предполагается, что для человека стохастические эффекты являются беспороговыми (ICRP, 1991). Это предположение получает всё большую поддержку как результат изучения механизмов биологического действия ионизирующих излучений (UNSCEAR, 2000). Для защиты видов, не относящихся к млекопитающим, было бы преждевременным на этом этапе пытаться отличить детерминистские и стохастические эффекты. Радиационные эффекты можно было бы, следовательно, рационально сгруппировать по нескольким широким категориям, таким как преждевременная смертность (организм умирает раньше, чем это случилось бы, если бы он не подвергался облучению), «заболеваемость» (ухудшение общего физического и/или ментального состояния, включая эффекты роста и поведения) и снижение репродуктивных потенций (в том числе эффекты фертильности и плодовитости). Предполагается, что заболеваемость и нарушение репродуктивных потенций происходят при дозах, намного меньших, чем дозы, приводящие к смертности.

---

<sup>1</sup> Более современные данные по этому вопросу представлены в *Публикации 92 МКРЗ «Relative Biological Effectiveness (RBE), Quality Factor (Q), and Radiation Weighting Factor ( $W_R$ )»*. Annals of the ICRP, 2003, vol .33, № 4. (Примеч. ред. рус. перев.).

- (73) Радиация может также вызвать повреждения, которые проявляются в последующих поколениях. Для человека НКДАР ООН дает оценку риска наследственных эффектов в потомстве облученных индивидуумов около 10 % от риска заболеть раком у облученных родителей (UNSCEAR, 2001). Для живых организмов, исключая человека, понять степень значимости наследственных эффектов на уровне популяции (т.е. здоровья популяции и её выживания) еще сложнее из-за наличия естественного отбора. Только в случаях, когда мутации придают селективные преимущества в связи с особыми условиями окружающей среды, они будут распространяться в популяции. «Вредные» мутации обычно будут селектироваться из популяции, а «нейтральные» мутации могут сохраняться через многие поколения. Такое понятие в теории мутаций как селективный баланс обсуждалось НКДАР ООН (UNSCEAR, 2001).
- (74) Все вышеперечисленные категории включают в себя большое число различных радиационных эффектов на уровне отдельных организмов, и все вместе они отражают ограниченность наших знаний в настоящее время. Тем не менее, они аналогичны конечным эффектам, которые часто используются при оценке риска для других факторов стресса в окружающей среде. Эти категории эффектов отражают потребности защиты окружающей среды и её сохранения.
- (75) Эффекты на более высоких уровнях биологической организации (популяции и экосистемы) наблюдаются только при условии, если отмечается воздействие на отдельные организмы. Таким образом, данные по эффектам, как правило, собираются для отдельных индивидуумов, а не для более высоких уровней организации. Необходимо быть осторожным при анализе ситуаций, в которых воздействие на индивидуумов не может быть легко распознано, а влияние на популяцию может проявиться. В зависимости от обстоятельств и потребностей оценки радиационных эффектов можно провести на уровне индивидуумов, популяций, сообществ или экосистем. Такие оценки могут оказаться трудновыполнимыми и будут зависеть от многих факторов, таких как число индивидуумов внутри популяции, которые подверглись воздействию, природа различных типов популяций внутри сообщества и т.д. В естественной среде ситуация может усложниться из-за взаимодействия между каждым индивидуумом и его окружением. Эти воздействия также могут быть видоизменены под влиянием других факторов стресса в окружающей среде или комбинированных эффектов, связанных с наличием других загрязнителей, а также взаимодействия на различных пищевых уровнях.
- (76) Важным фактором в экологии является взаимозависимость популяций и сообществ. Изменения в одном экологическом показателе могут оказать сильное влияние на другие. Экосистема состоит из определенного числа биотических и абиотических компонент, и радиационный отклик зависит частично от радиочувствительности отдельных биотических составляющих, преобладающих в этой экосистеме.
- (77) Воздействие на экосистемы обычно наблюдается на популяционном или более высоких уровнях организации, тогда как данные по дозовому отклику, как правило, собирают на индивидуальном уровне (организма). Таким образом, существует необходимость выявления концептуальных связей между молекулярными эффектами на уровне индивидуума с потенциальными эффектами на уровне популяций и экосистем. Они могут быть многочисленными и сложными (рис.3.1), а оценка воздействия факторов стресса в окружающей среде, в том числе и радиации, за пределами уровня индивидуума ограничена недостатком данных. Следовательно, представляется рациональным сосредоточить внимание на индивидуумах с целью выработки рамочной программы радиологических оценок, которые можно применить в общем к вопросам окружающей среды, поскольку радиационные эффекты на уровне популяций — или выше — опосредованы через воздействие на индивидуумов этой популяции. Этот

подход согласуется с существующими методами оценки для нерадиоактивных загрязнителей. Хотя теоретические модели энергетических потоков в экосистемах, взаимодействия хищник-жертва и динамики популяций были развиты для ограниченного числа упрощенных экосистем или экономически важных видов, существует общий недостаток информации для оценки действия различных загрязнителей в окружающей среде, включая ионизирующую радиацию, на важные экологические функции, описанные в этих моделях. Следовательно, оценки экологических эффектов загрязнителей обычно направлены на определение воздействия на индивидуумов из числа наиболее облученных и/или наиболее чувствительных видов или стадий жизненных циклов, причем делается вывод, что если наиболее чувствительные виды или стадии жизненных циклов защищены, целостность экосистемы также будет сохранена. Проводятся исследования по выработке углубленного подхода к оценке радиационного воздействия на функции экосистем (Brechnignac, 2001, 2002a, b).



**Рис. 3.1** Схема, иллюстрирующая радиационные эффекты, начиная с исходного поражения ДНК до эффектов на уровне индивидуумов и более высоких уровнях организации.  
ОБЭ — относительная биологическая эффективность

(78) Хотя большая часть информации по воздействию радиации основана на изучении индивидуумов, некоторые полевые наблюдения за популяциями, экосистемами и сообществами были выполнены в контролируемых лабораторных и экспериментальных полевых условиях, а результаты ряда наблюдений явились итогом исследований, проводившихся после крупномасштабных аварийных выбросов радионуклидов в окружающую среду (IAEA, 1992; UNSCEAR, 1996; Van der Stricht and Kirchmann, 2001). В

этих исследованиях показано, что размножение, вероятно, наиболее критический конечный эффект в смысле выживания на уровне популяции в зависимости от определения, что такое популяция и что такое ее выживание. Интерпретация этих явлений на уровне сообществ, однако, более сложна. Чувствительность к хроническому облучению, как было показано (IAEA, 1992), заметно изменяется среди различных таксонов: некоторые млекопитающие, птицы, рептилии и небольшое число видов деревьев оказываются наиболее чувствительными наземными организмами. МАГАТЭ также проанализировало существующую литературу в отношении заявлений МКРЗ (1991) и в связи с предположением, что живые организмы\* рассматриваются и оцениваются в большей степени как популяция, нежели как индивидуумы (IAEA, 1992). Сделанные выводы о мощностях доз, которые не вызывают видимых изменений в популяции наземных растений и животных, а также водных организмов, были впоследствии использованы Департаментом по энергетике США в нормативном контексте (USDOE, 1993, 1996). Аналогичные выводы были сделаны в более недавнем обзоре НКДАР ООН (UNSCEAR, 1996). С помощью экотоксикологического подхода специалисты Канадской комиссии по ядерной безопасности (CNSC) получили несколько различающиеся значения доз, которые «не вызовут ожидаемого эффекта», для оценки экологических рисков в нормативных документах (Bird et al., 2003).

- (79) В общем, в последовательной череде нескольких облученных сообществ растений и животных результирующее воздействие ионизирующего излучения на экосистемы, вероятно, определяется балансом между процессами поражения и восстановления. Воздействие ионизирующей радиации на фауну и флору всегда модифицируется влиянием ряда экологических факторов. Следовательно, можно ожидать проявление компенсаторных, аддитивных или синергических эффектов радиации и других факторов окружающей среды (Stilling, 1999).
- (80) В заключение, хотя в целом накоплены большие объемы информации об общих закономерностях действия радиации на живые организмы, надо отметить ограниченность наших сегодняшних знаний о влиянии радиации на биоту. Проблемы сегодняшнего дня заключаются не столько в недостаточности данных, а сколько в отсутствии направления, как лучше их систематизировать и объяснить полученные сведения для оценки воздействия радиации на живые организмы\*. Такая переоценка также значительно бы облегчила анализ данных и установление приоритетов в получении новой информации.



#### 4. Система защиты, принятая Комиссией

- (81) Несколько основных предположений следуют из текущего утверждения Комиссии в параграфе 16 *Публикации 60*: «Комиссия считает, что соблюдение стандартов контроля окружающей среды, необходимых для защиты человека в той мере, которая признается в настоящее время желательной, обеспечит также отсутствие риска и для других видов живых организмов» (ICRP, 1991). Здесь неявно предполагается, что Комиссия рассматривала окружающую среду в плане защиты биологических компонентов через систему защиты человека, а конечная цель защиты живых организмов\* — только репродуктивная способность на уровне популяции или на более высоком уровне. Далее, Комиссия не объясняет, как она рассматривает проблему — будет ли защищена окружающая среда ради защиты её самой или это будет сделано в интересах человека. Комиссия не касается даже упрощенно необходимости защиты окружающей среды. Можно также отметить из других предложений того же параграфа («в настоящее время Комиссия озабочена окружающей человека средой только в связи с переносом радионуклидов, так как это прямым образом воздействует на радиационную защиту человека»), что Комиссия до сих пор не рассматривала все другие стороны окружающей среды за исключением прямо связанных с радиационной защитой человека. Данное утверждение МКРЗ может быть открыто для различных интерпретаций. Кроме того, само утверждение рассматривается некоторыми как не отвечающее современному уровню озабоченности проблемами защиты окружающей среды и чувствительности общественности. По этому вопросу также полагают, что радиационная защита окружающей среды должна согласовываться с политикой, принятой в отношении химических загрязнений и других вредных агентов.
- (82) Исторически антропоцентрический подход в радиационной защите стал приоритетным из-за необходимости защиты человека в различных ситуациях (медицинское и профессиональное облучение, облучение населения). При этом каким-то компонентам окружающей среды (место обитания человека), вероятно, был предоставлен очень хороший уровень защиты при применении системы защиты МКРЗ. Тем не менее, существуют определенные условия, при которых подход МКРЗ не является достаточным для защиты окружающей среды или может оказаться даже неверным. В качестве примеров можно привести окружающую среду, в которой человек отсутствует (например, водная среда), ситуации, в которых люди были удалены в целях обеспечения их безопасности (например, в случае вмешательства), и ситуации, когда распределение радионуклидов в окружающей среде таково, что облучение человека будет минимальным, а другие представители фауны и флоры могут подвергаться довольно интенсивному воздействию ионизирующих излучений. Другая проблема заключается в том, что неполноценный уровень защиты (т.е. нет угрозы всему виду) не соответствует представлениям об устойчивом развитии и многим действующим положениям, актам и правилам по защите окружающей среды.
- (83) Есть небольшое число примеров, когда дозы облучения и для человека, и для других компонентов окружающей среды оценивались одновременно. Там, где это имело место, как в окрестностях Селлафильда в Великобритании, для фауны наблюдались на два порядка большие мощности дозы, нежели мощности дозы для населения (критической группы) (Woodhead, 1973). Проводилось сравнение с теорией с помощью «desk-top» исследований (IAEA, 1992), но использовавшиеся концентрации радионуклидов, а следовательно, и мощности дозы, связанные с ними, обычно относились к тканям и органам, которые употребляются людьми в пищу (такие как мышечные ткани), а не к тканям и органам, имеющим отношение к воздействию радиации на сами организмы.

#### 4.1. Оценка риска для человека

- (84) Система защиты человека, принятая МКРЗ, на практике реализуется с использованием принципов обоснования, оптимизации и пределов дозы, а также путем применения (а) референтных анатомических и физиологических моделей человека, (б) исследований на молекулярном и клеточном уровнях и (в) экспериментальных исследований на животных, а также эпидемиологических исследований. Использование моделей привело к тому, что были выведены практически табулированные данные по выбранным параметрам «доза на единицу количества поступающего вещества» для различных радионуклидов, которые можно использовать для персонала, пациентов и населения. При эпидемиологических и экспериментальных исследованиях были получены оценки риска, связанные с внешним и внутренним облучением радионуклидами. Для детерминистских эффектов были собраны данные по наблюдениям на человеке, которые затем были подтверждены результатами молекулярной биологии. Для стохастических эффектов (главным образом рак, но также и наследственные эффекты) начальными данными для МКРЗ служили результаты эпидемиологических исследований. Они были дополнены результатами экспериментальных исследований механизмов канцерогенеза, чтобы получить оценки риска для малых доз, представляющих интерес в радиационной защите.
- (85) МКРЗ оценки риска называются «номинальными», так как они связаны с продолжительным облучением номинальных групп населения из мужчин и женщин с типичным распределением по возрасту. Как и все оценки, выведенные из эпидемиологических исследований, коэффициенты номинального риска не применяются к отдельным индивидуумам, если только не предполагается, что индивидуум является типичным для номинального населения. В таком предположении оценки показателей смертности и коэффициентов ущерба являются адекватными и для планирования, и для общего прогноза последствий облучения номинального населения. Для оценки вероятных последствий облучения для индивидуума или для конкретного населения лучше использовать поглощенную дозу и конкретные данные, связанные с ОБЭ (относительной биологической эффективностью) рассматриваемого излучения, и оценки вероятностных коэффициентов, конкретно относящихся к облученному населению или индивидууму.
- (86) Система, принятая МКРЗ для оценки воздействия ионизирующих излучений, — это ясная система, во многих отношениях находящаяся в согласии с тем, что используется в других областях защиты окружающей среды, т.е. при определении опасности (по существу всех радионуклидов), идентификации риска (сначала через повреждение ДНК) и характеристики риска, включающие стандартные значения. Однако эта система оценки не применяется к окружающей среде.

##### 4.1.1. «Стандартный (условный) человек»

- (87) Для расчетов доз облучения организма от внутренних и внешних источников необходимы данные об анатомических и физиологических характеристиках облученного организма. При разработке последовательного и полноценного руководства по радиационной защите для различных типов облучения важно, чтобы для описания разных анатомических и физиологических характеристик облученного индивидуума использовался бы хорошо выверенный набор контрольных параметров. Эти контрольные параметры для тканей и органов при суммировании определяют «эталонный» индивидуум. Рассмотрение полностью эталонного индивидуума позволяет гарантировать внутреннее согласие относительно того, каким образом задаются объем, масса или функциональные характеристики различных органов или тканей.

- (88) Эта концепция исходного эталонного организма для радиационной защиты («Стандартный (условный) человек») давно используется и признается МКРЗ. В МКРЗ работа по определению первого эталонного индивидуума была начата в конце 1940-х годов, а в 1975 г. в *Публикации 23* (ICRP, 1975) были приведены данные по эталонным параметрам человека. Этот отчет содержал большое количество данных об анатомических, морфологических и физиологических характеристиках человека относительно биокинетики или дозиметрии инкорпорированных в организме радионуклидов. Комиссия недавно одобрила новый отчет, в котором приводятся обновленные данные по «Стандартному (условному) человеку» (ICRP, 2002).
- (89) Введение понятия «Стандартный (условный) человек» не имеет своей целью ни описать «усредненного» индивидуума из выделенной группы населения, ни сделать так, чтобы набор данных этого эталонного индивидуума обязательно представлял бы сведения, которые были бы получены путем выбора случайного объекта из любой группы населения. Цель введения «Стандартного (условного) человека» заключается в создании «стандарта» и точки отсчета в процедуре оценки дозы для человека. Параметры и характеристики были первоначально определены для того, чтобы обеспечить основу для оценки доз для персонала, а со временем были дополнены подмножеством данных для исходного «Стандартного (условного) человека», такими как «Модели дыхательного тракта человека» (ICRP, 1994), «Модели скелета» (ICRP, 1995) и дозы для эмбрионов и плода от поступивших в организм матери радионуклидов (ICRP, 2001a).

#### 4.2. Пересмотр существующих рекомендаций Комиссии

- (90) МКРЗ в настоящее время пересматривает свои существующие рекомендации по защите человека для развития рекомендаций для начала XXI века (Clarke, 1999; ICRP, 2001b). Поступая таким образом, Комиссия рассматривает упрощенный подход со следующими значительными изменениями по сравнению с рекомендациями в *Публикации 60* (ICRP, 1991):

- акцент на защите индивидуумов в дополнение к требованию оптимизации защиты;
- расширение узкого определения пределов доз для ряда защитных действий и уровня, выше которого каждое из действий должно предприниматься;
- проведение разделения защитных действий на те, которые будут предприниматься в отношении источника, и те, которые могут применяться только относительно путей, ведущих от источника к дозам для индивидуумов;
- добавление стратегии радиационной защиты живых организмов\*;
- уточнение дозиметрических параметров.

Таким образом, есть хорошая возможность расширения рамок оценки радиационного воздействия, включив живые организмы\*, причем эти взгляды могли бы быть связаны с системой радиационной защиты или интегрированы в неё.

- (91) МКРЗ (2001b) была предложена шкала, указывающая соответствующий уровень озабоченности. Целью было установить широкий базис для определения уровней озабоченности и избежать при этом жестких разграничений и двусмысленностей. Существует несколько факторов, которые влияют на выбор этих уровней озабоченности. Мировая средняя эффективная доза от естественных источников, не включая воздействие радона, равна 1 мЗв/год, и Комиссия предложила, что эта доза может служить начальной точкой. Наличие естественного фона не дает оправдания для дополнительного облучения, но он может использоваться в качестве основы суждений о степени значимости этого дополнительного облучения.

### 4.3. Необходимость реформы

- (92) Радиационная защита окружающей среды является важной проблемой, и в будущем ее значимость только возрастет. Подход, ориентированный на человека, использовавшийся МКРЗ до сих пор, имеет очевидные ограничения относительно биосферы в целом. Действующая система радиационной защиты в общем не применима к окружающей среде и не соответствует нуждам управления или запросам общества. Заявление о текущей политике Комиссии, содержащееся в параграфе 16 *Публикации 60* (ICRP, 1991), в возрастающей степени оспаривается из-за недостатка доказательств, ясности и отсутствия связи с целями общества по защите окружающей среды, как утверждается в принципах, представленных в разделе 3. Следовательно, необходимо, чтобы Комиссия сформулировала более полный подход, охватывающий защиту и человека, и других живых организмов. При этом наиболее важными являются два следующих вопроса:
- можно ли распространить действующую систему радиационной защиты МКРЗ на защиту биоты?
  - как можно разработать рекомендации МКРЗ для XXI века, чтобы они в явной форме включали учет возможного воздействия радиации на отличающиеся от человека виды?
- (93) При ответе на эти вопросы важно признавать, что определение того, какая часть или компонента окружающей среды нуждается в защите от излучения, — не есть задача экспертов по радиационной защите. Нужды и цели защиты окружающей среды уже определены обществом на региональном и национальном уровнях. Роль МКРЗ будет заключаться в объяснении последствий для радиационной защиты смещения к более всеобъемлемому подходу и определению, каким образом большой опыт Комиссии и систематический подход к радиационной защите человека могут способствовать достижению этих целей.
- (94) Имея в виду, что эффекты ионизирующего излучения, по меньшей мере на молекулярном уровне, аналогичны для всех живых организмов, существует много причин, по которым МКРЗ сейчас нуждается в основных положениях, с помощью которых можно будет более четко сформулировать свою позицию и будущую роль по отношению к защите живых организмов\*. Среди этих причин:
- необходимость доказательства того, что основные положения радиационной защиты согласуются с признанием необходимости учета взаимозависимости человека и окружающей среды для достижения устойчивого развития;
  - необходимость для управляющих и регулирующих органов подтверждать соответствие с возрастающим количеством существующих международных и национальных требований по окружающей среде, связанных с теми видами деятельности, при которых происходит поступление радионуклидов в окружающую среду;
  - использование разработанных МКРЗ в прошлом или настоящем рекомендаций и предложений по разработке и формулировке как международных, так и национальных законов, относящихся к регулированию такой деятельности для охраны здоровья человека;
  - необходимость в обеспечении национальных органов рекомендациями в случаях вмешательства, особенно в тех ситуациях, когда возможность облучения человека или минимальна, или превентивные действия уже были проведены;
  - признание необходимости четко показать, каким образом знание потенциального действия ионизирующей радиации на окружающую среду может использоваться для информации лиц, принимающих решение, и общественности; и

- необходимость предложить основы для регулирования доз облучения в плане защиты окружающей среды, более согласующегося с регулированием воздействия других видов потенциально опасной промышленной деятельности или влияния других загрязнителей, что связано с интересами МКРЗ.
- (95) Вне сомнений, усилению роли Комиссии в этом вопросе значительно способствовало то, если бы существовал единственный этический подход, который определил, что означает «защита окружающей среды». Но его нет. Забота об окружающей среде многогранна, и основа её защиты, как обсуждалось в предыдущих разделах, может часто затрагивать:
- научные доказательства, особенно касающиеся защиты окружающей среды, в плане прямого или косвенного влияния на здоровье человека, его пищу, благосостояние и уровень жизни;
  - социальные и культурные ценности, которые могут в свою очередь иметь основу в религиозных или философских принципах и верованиях; и
  - необходимость соответствия международным и национальным законам, которые касаются защиты и сохранения природной среды.
- (96) Взятые в отдельности любое из вышеприведенных соображений для привлечения Комиссии к решению этой проблемы может долго обсуждаться, но взятые вместе они делают сложным неучастие МКРЗ. В равной мере МКРЗ не может предложить этические принципы, на которых базировалась бы защита живых организмов\* без учёта того, что уже было сделано на национальном и международном уровнях. Вместе с тем, существует достаточно доказательств для того, чтобы определить границу между уровнем знания радиационных воздействий, с одной стороны, и уровнем требований по защите биоты, с другой, — необходимости сохранения окружающей среды, поддержания биоразнообразия, обеспечения высокого качества окружающей среды и требования «здоровья экосистемы».
- (97) Исходя из темпов решения этой проблемы на национальном и международном уровнях и недостатка в международных решениях с учетом системных и структурных подходов к оценке радиационных эффектов и управления ими у живых организмов\*, многие органы возлагают надежды на деятельность МКРЗ. Ясно, следовательно, что Комиссия должна определить свою позицию и ту роль, которую она хотела бы играть в будущем в отношении радиационной защиты биоты, чтобы оправдать эти ожидания международных организаций.

## 5. Предложения по системному подходу к оценке действия ионизирующих излучений на живые организмы, исключая человека

### 5.1. Введение

- (98) Перед Рабочей группой ставилась конкретная задача — определить или разработать рамочную программу действий, которая могла бы помочь Комиссии в дальнейшем развитии подходов к защите окружающей среды на региональном или национальном уровнях. При этом было необходимо сначала составить краткий обзор текущего состояния и последних достижений в подходах к оценке экологических рисков и управления ими, что связано с воздействием ионизирующей радиации, возникающим вследствие человеческой деятельности. Некоторые из обзоров были сделаны, исходя из интересов на национальном уровне, другие — более общие — касаются концепций и источников; некоторые были специально разработаны для обсуждаемых проблем, связанных с заявлениями МКРЗ, тогда как в других отчетах шел поиск свежих решений, исходя из ранее сформулированных принципов.
- (99) Таким образом, был разработан целый ряд различных подходов для решения вопросов, возникших в отношении текущего заявления МКРЗ о защите окружающей среды. Они заключаются в следующем:
- аргументы, что поскольку человек — неотъемлемая часть «окружающей среды» и ему придан такой высокий уровень защиты, все другие компоненты окружающей среды защищены аксиоматически;
  - расчеты для подтверждения вывода, согласно которому, если в гипотетической ситуации концентрация радионуклидов в окружающей среде такова, что предельная доза для человека 1 мЗв/год не превышена, то концентрация радионуклидов в пищевых цепочках животных и растений приводит к облучению с мощностью дозы меньше той, которая способна причинить «вред» на уровне популяции (IAEA, 1992);
  - использование — или предложение применения — **стандартов предельных доз** для защиты популяций всех водных животных (1 рад/день) и рассмотрение дозовых «стандартов» 1 и 0,1 рад/день для популяций всех наземных растений и животных, соответственно, для определенных зон вокруг объектов, относящихся к юрисдикции Департамента по ядерной энергетике США (USDOE, 1993, 1996; UNSCEAR, 1996), и для морских животных (100 мГр/год) и морских растений (1000 мГр/год) в России (Сазыкина и Крышев, 1999);
  - введение рамочной программы по **оценке экологического риска** для определения воздействия на живые организмы\* выбросов радионуклидов с ядерных установок с помощью дозиметрических моделей и оценок «доза, не оказывающая воздействия» для ряда конечных точек влияния на биоту в водных и наземных экосистемах (Bird et al., 2003; Thompson et al., 2003);
  - попытка построения общей системы защиты окружающей среды, основывающейся на методе небольшой специально выбранной **референтной фауны и флоры**, состоящем из определенных дозовых моделей, набора данных для оценки последствий облучения и соотношений доза-эффект для отдельно выбранных видов фауны и флоры, что может использоваться (наряду с другой соответствующей биологической информацией) при принятии решений при различных обстоятельствах, таких как контроль практики или случаев вмешательства (Pentreath, 1999, 2002, 2003). Это предложение было поддержано МСР (2000); и

- дальнейшее развитие разработки **системных рамочных программ** — также путем использования подхода референтной фауны и флоры — для оценки воздействия ионизирующего излучения на окружающую среду в особых географических ареалах, с учетом интереса на уровне отдельных государств (Coppstone et al., 2001), а также для экосистем Европы и Арктики, включая проекты, финансируемые в 5-й Рамочной программе ЕК, особенно FASSET и EPIC (Strand et al., 2000).

(100) Все эти подходы имеют свои сильные и слабые стороны. Критика, растущая в отношении первого («аксиоматического») подхода, включает ту ситуацию, когда люди присутствуют, но маловероятно, что они получают самые большие дозы из-за пространственного распределения радионуклидов в окружающей среде и вследствие различий в биологическом накоплении радионуклидов разными животными и растениями; также существуют компоненты окружающей среды, где человек не может жить (подводная среда), и обстоятельства, при которых человек покидает зону своего обитания для собственной безопасности (в случае вмешательства), а животные и растения остаются. Последние два критических аргумента также могли быть отнесены к исследованию МАГАТЭ в 1992 г. в дополнение к факту, что обследуемые организмы входят как звено в пищевую цепочку человека и могут не представлять организмы, которые подвергаются максимальному облучению радионуклидами. Но, наверное, одна из самых слабых сторон, присущих обоим подходам, — то, что планируемый или обсуждаемый уровень защиты окружающей среды не является достаточно определенным в смысле биологических конечных точек для этого воздействия или уровней риска, связанных с ним; хотя исследование МАГАТЭ было направлено на оценку влияния на уровне «популяции» без определения того, что подразумевается под популяцией.

(101) Применение метода **«стандартов предельных доз»** требует рассмотрения следующих вопросов: по какой «согласованной» методологии определялись дозы; какие биологические конечные точки — или уровни риска, относящиеся к ним, — эти пределы представляли; каким образом доказано соответствие между ними и как часто это отмечалось; и что нужно делать, если они превышены? Относительно существующих и предложенных Департаментом по энергетике США предельных доз можно сказать, что эти «ожидаемые безопасные уровни» облучения основаны на опубликованных данных о последствиях при остром и хроническом облучении (NCRP, 1991; IAEA, 1992; UNSCEAR, 1996), при этом репродуктивная функция являлась критическим конечным критерием, который и был предметом озабоченности. Эти пределы доз основаны на предположении, что население будет достаточно защищено, если доза для наиболее облученных индивидуумов не превосходит указанный уровень облучения. Предельные дозы, установленные Департаментом по энергетике США, применяются не в том смысле, что их превышение потребует обязательных регулирующих или корректирующих действий. Скорее это руководство по дозам, которое, в случае их превышения, указывает на то, что, вероятно, будут необходимы дальнейшие исследования и действия. Был развит градуированный подход к оценке доз облучения в качестве способа демонстрации соответствия с дозовыми пределами и как инструмент для скрининга оценки радиационного воздействия. Технический стандарт Департамента по энергетике США документирует соответствующую методику, содержит справочник по статистическим параметрам, а также руководство по тому, как поступать при превышении предельной дозы (USDOE, 2002). Использование четырех обобщенных типов организмов (водные животные, прибрежные животные, наземные животные и наземные растения) в расчетах предельных концентраций радионуклидов («Руководство по концентрациям радионуклидов в биоте») в почве, донных отложениях и воде в качестве главного инструмента при скрининге описано в работах К. Хигли и др. (Higley et al., 2003 a,b,c).

- (102) В рамках метода **оценки экологического риска** также используется ярусный подход к определению того, могут или нет существующие или планируемые выбросы радионуклидов быть опасными для биоты (в документах СЕРА, 1999, и СЕАА, 1992, дается определение «вреда»). Измеряемые параметры конечных эффектов, оцененные для соответствующих референтных видов, выбираются в результате анализа путей переноса радионуклидов и имеющихся научных данных по относительной чувствительности организмов различных таксономических групп, а также экосистем к действию ионизирующей радиации. В тех случаях, когда результаты таких оценок указывают на возможность нанесения вреда, их включают в программу управления рисками, где с помощью анализа затрат-выгод рассматриваются доступные защитные меры. Затем эффективность избранных контрмер оценивается с точки зрения сохранения окружающей среды с помощью экологического мониторинга или моделирования.
- (103) Наконец, трудности при попытке разработать системный подход «референтной фауны и флоры», предложенный Р. Я. Пентризом (Pentreath, 1999, 2002, 2003), как видно, связаны с потенциальными масштабами задач, затрагивающими этот «референтный» подход, который базируется на небольшом числе хорошо изученных организмов и может быть использован для многих конкретных территорий и ситуаций. Одновременно этот подход выстраивается на базе данных для индивидуумов, не принимая во внимание воздействие на более высоких уровнях организации. МСР поддерживает принцип референтной фауны и флоры и интегрирует эту концепцию в свою рамочную программу работ по защите окружающей среды (Strand et al., 2000; IUR, 2000). Довольно детально разработанный принцип референтной фауны и флоры, использовавшийся для обоснования предельных выбросов, был, однако, впервые применен для оценки возможного воздействия выбросов радионуклидов в морскую окружающую среду (Pentreath and Woodhead, 1988) и использован при пересмотре допустимой величины годовых выбросов с целью выполнения Лондонской конвенции (IAEA, 1988). И в подходе Департамента по энергетике США, и в Канадском подходе также применялись некоторые формы референтных организмов или сообществ для подтверждения обоснованности ранее установленных предельных доз или для расчетов доз облученных организмов при оценке коэффициентов риска путем сравнения с результатами исследований зависимости для выбранных конечных точек (эффектов облучения). Учитывая это, новые результаты «референтного» подхода рассматриваются в этом документе более детально, так как практическое использование этого метода является неотъемлемой частью выполняемых в настоящее время программ по оценке и управлению при решении проблем окружающей среды во многих странах: FASSET — программы ЕК, включающей Финляндию, Францию, Германию, Норвегию, Испанию, Швецию и Великобританию; программы ЕРІС, куда входят Норвегия, Россия и Великобритания; и Британской программы по оценке воздействия на окружающую среду (Coppelstone et al., 2001).

## 5.2. Цели защиты живых организмов, исключая человека

- (104) Была проведена обширная дискуссия по вопросу, что действительно будет оцениваться с применением этих подходов — риски для индивидуумов, популяций или экосистем. И в этом отношении сложившееся положение часто сравнивают с ситуацией по радиационной защите человека, где цели (относительно) ясны, или противопоставляют ей. До некоторой степени, однако, необходимость ответа на этот сложный вопрос становится все меньшей из-за ужесточения требований, которые должны быть удовлетворены в согласии с растущим объемом общих и специальных законодательств в области защиты окружающей среды. Так, на международном и национальном уровнях все возрастающему числу животных, растений, территорий, мест обитания и т.д. по закону с



указанием различных аргументов должна быть предоставлена защита от «вреда» на уровне индивидуума или популяции от всех видов деятельности, включая выбросы радионуклидов. Кроме того, в большом числе международных конвенций и национальных законодательств фокусируется внимание на необходимость предотвращения загрязнения независимо от уровня риска для живых организмов\*.

- (105) В равной мере, однако, как обсуждалось в разделе 2, необходимо признать, что нет единой этики, в которой излагается существо понятия «защита окружающей среды». Следовательно, нет реального контекста для вопроса: что же мы, общество по радиационной защите, стараемся защитить? Такая защита, которая осуществляется в настоящее время, возникла как совокупность глобальных и региональных соглашений, относящихся к контролю загрязнения, деятельности по управлению отходами, минимизации опасностей и необходимости сохранения и защиты естественной окружающей среды и ее отдельных компонентов. Тем не менее, взятая вместе, эта сложная совокупность многосторонних соглашений по окружающей среде и аналогичных им договоров уже ограничивает значительную часть промышленной деятельности в мире. Все эти международные соглашения являются «мягкими» законами и, строго говоря, не являются обязательными к исполнению, если только они не реализуются рядом государств-участников в пределах более широких политических и правовых рамок. Следовательно, внедрение этих принципов происходит обычно через национальное законодательство. На национальном уровне в отношении всех этих вопросов применяется специальное законодательство, особенно при использовании технологий, связанных с контролем загрязнений. Этот иерархический подход также соответствует уровню и пределам, до которых международные рекомендации могут быть ненавязчиво предложены для защиты живой окружающей среды от вредных воздействий ионизирующей радиации.
- (106) Во многих международных и национальных договорах в настоящее время высказывается требование, чтобы оценка экологического риска выполнялась в прозрачной форме, то есть могла быть повторена и воспроизведена с помощью оценки воздействия на окружающую среду. Это требование состоит в том, как наилучшим образом продемонстрировать соответствие всему существующему и проектируемому законодательству по окружающей среде, которое относится к данному месту или виду деятельности. Оно по существу может принимать вид необходимости доказать отрицание — что деятельность не приводит к ущербу окружающей среде или что выбросы от этого вида деятельности являются безвредными. В отношении защиты живых компонентов естественной окружающей среды в категориях «сохранения природы» требованиями опять — как отмечено в разделе 2 — являются обычно *сохранение* отдельных видов или мест обитания, *поддержание разнообразия* мест обитания, видов и генетического разнообразия внутри видов и *защита* мест обитания и отдельно обозначенных ареалов, которые время от времени выделялись по той или иной причине.
- (107) Следовательно, одним из общих вопросов, имеющих отношение к сути обсуждаемого, является следующий: какое воздействие на фауну и флору должно быть минимизировано, чтобы удовлетворить этим требованиям? Ответов, понятно, очень много. Для того, чтобы упростить вопрос и дать возможность разработать рамочную программу управления окружающей средой, Р. Я. Пентриз (Pentreath, 1998, 1999, 2000, 2003) и МАГАТЭ (IAEA, 2002b) предложили интегрирующую программу, суммирующую такие эффекты по трем широким категориям: преждевременной смертности, прямо обусловленной облучением, учитываемым цитогенетическим (ДНК) повреждением как показателю биологического ущерба различной этиологии и снижению репродуктивной потенции. Четвертым конечным эффектом могла бы быть заболеваемость, связанная с радиационным ущербом. При выборе такого подхода, однако, полностью признава-

лось, что предложенная классификация скрывает очень большое число дискретных эффектов — таких как способность к воспроизводству, плодовитость и т.д. Одновременно полностью признаются ограниченность наших современных знаний о таких воздействиях, а также необходимость уметь интерпретировать эти ожидаемые эффекты в более широком контексте управления воздействием на окружающую среду. Таким образом, например, могут иметь место различные последствия и, следовательно, принятые решения, если только малая часть природной популяции подверглась воздействию высоких доз по сравнению с большей частью популяции, облученной малыми дозами. Однако, ответ на вопрос, что составляет допустимый уровень вреда, выходит за рамки науки, и на него лучше отвечать на этапе управления окружающей средой, когда при принятии решений учитываются и социально-политические факторы.

(108) Если какая-нибудь система оценок представляет ценность, она должна быть использована в любых ситуациях, когда происходит управление средой. В современной терминологии радиационной защиты это означает, что ее можно применять как к *практике*, так и к *вмешательству*. Более специфические случаи, где указанную систему можно использовать, это ситуации, в которых озабоченность опасностью часто является главной проблемой для политиков и общественности: где цепочек миграции радионуклидов к человеку мало или же они полностью отсутствуют; прогнозы будущего облучения, особенно в отношении обращения с отходами; ситуации, когда могут происходить аварии или события идут не так, как предсказано; обращение с загрязненными землями, заселение людей на которые маловероятно; обеспечение твердой гарантии для рутинных действий. К счастью, были выполнены обширные работы по мониторингу фактических выбросов и моделированию будущих или возможных выбросов радионуклидов для широкого круга экосистем в наземной и морской окружающей среде. Проведено большое количество исследований по изучению зависимостей между содержанием радионуклидов в различных средах и концентрацией радионуклидов в животных и растениях, особенно для водной окружающей среды. К сожалению, однако, большинство этих данных, обычно выраженных в виде коэффициентов накопления, отношений концентрации или коэффициентов перехода, касается целых организмов или их частей, которые используются как пищевые продукты человеком. Другими словами, не всегда есть те данные, которые необходимы для определения доз облучения фауны и флоры, что имеет значение для оценки преждевременной смертности, уменьшения репродуктивных потенций или возникновения наследственных эффектов.

(109) Если хотят в основном опереться на модели, а не на прямые экспериментальные измерения, большое количество моделей и соответствующих баз данных все же существует, и предпринимались попытки разработать «референтные» экосистемы для конкретной деятельности по обращению с радиоактивными отходами — такие как программа МАГАТЭ BIOMASS («Biosphere Modelling and Assessment») «Моделирование и оценка биосферы» (Linsley and Torres, 2001). Метод референтной фауны и флоры, следовательно, может успешно применяться во многих ситуациях, связанных с окружающей средой. Для морской среды данные по концентрациям и параметру  $k_d$ , которые можно было бы использовать в качестве основы при расчетах зависимости «доза на единицу концентрации радионуклида в воде» (для внутреннего и внешнего облучения) у некоторых видов животных, уже накоплены почти для 60 элементов (IAEA, 1985). Указанный подход с помощью методов моделирования использовался МАГАТЭ при решении задач, касающихся захоронения радиоактивных отходов в моря для около 200 радионуклидов (IAEA, 1988). Такие наборы данных были бы фактически эквивалентом табулирования «доза на единицу поступления» для «Стандартного (условного) человека».

### 5.3. Метод референтной фауны и флоры

- (110) Как можно видеть, существует несколько «референтных» подходов, в которых термин «референтный» относится к различным предметам — дозовым моделям, методам и т. д. Однако, логическим основанием для разработанного метода систематизированной фауны и флоры (Pentreath, 1998, 1999, 2002, 2003; Pentreath and Woodhead, 2001) было составление достаточно полного набора соответствующих данных для нескольких видов организмов, которые были бы типичными для основной окружающей среды. Этого можно было бы достичь на основе привлечения существующих знаний о них, а также того, что эти организмы стали бы предметом дальнейших исследований для сбора более полных сведений по некоторым основным аспектам их реакции на облучение, которые были бы важны в плане защиты окружающей среды. Следовательно, по существу допускается, что такой подход не может обеспечить общей оценки воздействия облучения — или же любых других загрязнителей природы — на окружающую среду в целом. Но, используя референтные наборы данных, можно было сделать некоторые выводы о вероятности и значимости различного воздействия ионизирующих излучений на такие индивидуумы. Затем, в свою очередь, должна появиться возможность оценки последствий облучения или для других индивидуумов, или для соответствующей популяции, применяя эти и другие данные и информацию об окружающей среде. Таким образом, можно будет принять управленческое решение по ситуации, приведшей к облучению.
- (111) Концепция составления таких систем данных для референтной фауны и флоры, следовательно, аналогична концепции референтного индивидуума («Стандартного (условного) человека»), используемой в радиационной защите человека. В этом плане она может быть применена в качестве основы многих расчетов и решений. Эта концепция также аналогична методологии оценки и измерений конечных точек (эффектов) в рамках теории «Оценка экологических рисков» (Environmental Risk Assessment) (Suter, 1999). Она подразумевает, что каждый референтный организм (как «Стандартный (условный) человек») служит *исходной* точкой для отсчетов при оценке риска для организмов с аналогичным жизненным циклом и параметрами облучения. Более конкретная связанная с местными особенностями информация могла бы обрабатываться для любой другой фауны и флоры, но для каждого такого набора данных было бы необходимо его связать каким-то образом с референтными организмами. Выбор исходных референтных животных и растений будет зависеть от усовершенствования системы защиты окружающей среды от радиации. Параметры выбираемых референтных организмов должны отражать роль организма, его радиочувствительность и значимость в экосистеме.
- (112) Таким образом, для каждой референтной фауны и флоры при экологической оценке (Pentreath, 2002, 2003) необходимо иметь (или иметь возможность получить) в достаточной степени внутренне согласованный набор данных по: основной биологии жизненного цикла; путям воздействия ионизирующих излучений, которое можно выразить в понятиях «доза на единицу облучения» («поисковые» таблицы); моделям для оценки доз, полученных соответствующим «критическим» органом; воздействию ионизирующих излучений на индивидуумы (преждевременная смертность, снижение репродуктивных потенций и видимые повреждения ДНК). Такие базы данных для ряда референтных организмов служили бы также как «критические» («default») значения для различных сценариев.
- (113) Возникает вопрос — чем в действительности является эта *первичная* референтная фауна и флора (Pentreath and Woodhead, 2001). Критерии, по которым её можно отобрать, вероятно, будут включать большое число научных соображений; также важно

иметь представление о том, насколько выбранные организмы можно рассматривать в качестве *типичных* представителей фауны и флоры конкретных экосистем и конкретных путей облучения. В идеале хотелось бы выбрать те организмы, о которых известно, что они или особенно чувствительны к воздействию радиации, или являются очень важными компонентами конкретных экологических сообществ, или, как ожидается, получают более высокие дозы облучения из-за места своего обитания (например, организмы, находящиеся в донных отложениях, когда в них накапливаются радионуклиды). Но необходимо также быть прагматиками и, следовательно, рассматривать то количество радиобиологической информации, которое уже доступно по этим организмам, включая данные по радиационным эффектам. Эти сведения должны быть дополнены результатами дальнейших исследований для того, чтобы получить необходимые отсутствующие данные. Также нужно рассматривать степень общественного и политического резонанса этой информации, так чтобы и те, кто определяет политику, и общественность знали, что же представляют собой эти организмы на обычном языке — например, утки или крабы. В общем и целом, можно утверждать, что начальной точкой могли бы быть такие представители фауны и флоры, для которых уже есть данные по дозам облучения и радиационным эффектам. Вместе с тем не имеет значения, если известно, что какие-нибудь свойства (полученные дозы, радиационные эффекты) для других представителей фауны и флоры уже известны в более полных объемах, чем для референтных фауны и флоры, при условии, если для них определена шкала соотношения. Когда представители фауны и флоры уже выбраны, их необходимо описать в таксономических терминах. В работе Р. Я. Пентриза и Д. С. Вудхеда (Pentreath and Woodhead, 2001) было выдвинуто предложение, что уровень «вид», вероятно, слишком узок, а уровни «семейство» и «порядок» могут стать подходящими для начального этапа группировки существующих данных (Pentreath and Woodhead, 2001).

### 5.3.1. Дозовые модели и геометрии облучения

- (114) В большом разнообразии дозовых моделей, которые необходимы для описания референтных организмов, вдобавок к описанию размеров и формы нужно четко учитывать, каким образом последствия облучения отражаются в виде приведенных выше категорий биологических эффектов. Краткая иерархия различных по сложности дозовых моделей была предложена Р. Я. Пентризом и Д. С. Вудхедом (Pentreath and Woodhead, 2001) на основе твердой сферы, эллипсоида или цилиндра, а также дополнительно одной (или нескольких) внутренних твердых сфер, эллипсоида(ов) или цилиндра(ов) для описания различных специальных тканей, которые представляют интерес. Часто такие модели применялись ранее (Woodhead, 1979; IAEA, 1988; Pentreath and Woodhead, 1988; NCRP, 1991), каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. Многие из этих моделей составляют основу исследований, проводящихся в настоящее время в рамках программы FASSET (Copplestone et al., 2001), и включают сравнение с результатами, полученными с помощью метода Монте-Карло. Вариации этих категорий «геометрий окружающей среды» также уже широко применяются (Amiro, 1997; Jones, 2000; Higley et al., 2003 a,b,c; USDOE, 2002). Таким же важным является уточнение возможного разнообразия «геометрий окружающей среды», в пределах которого эти модели могут быть признанными как представляющие интерес. Для удобства далее предлагалось, что указанные модели можно сгруппировать по следующим простым категориям: окруженные воздухом, водой или почвой ( $4\pi$ ); на границе воздуха или воды с почвой или донными отложениями ( $2\pi$ ); и концентрические, т.е. организмы окружены ( $4\pi$ ) воздухом или водой и затем окружены почвой или донными отложениями (Pentreath and Woodhead, 2001).

## 5.3.2. Уровни рассматриваемых доз для живых организмов, исключая человека

- (115) Следующий очевидный вопрос, возникающий в отношении метода референтной фауны и флоры, — как интерпретировать и применять данные по соотношениям между дозами и разными биологическими эффектами. Существует несколько способов, с помощью которых можно оценивать состояние окружающей среды, используя измеренные или рассчитанные мощности дозы облучения. Такое сравнение можно проводить в сопоставлении с естественным или историческим уровнями радиационного фона, характерными для данного ареала, включая внутреннее облучение для выбранных видов. Это сравнение можно также выполнить с помощью экспериментально полученной информации о том, какие вредные последствия имеют место при конкретных уровнях облучения (дозы и мощности дозы). Оба этих подхода использовались (Amiro and Zach, 1993; UNSCEAR, 1996; Bird et al., 2003). Для защиты населения МКРЗ рассматривает в настоящее время подход, основанный на *уровнях озабоченности*, а также на сравнении с фоновыми мощностями дозы (ICRP, 2001b).
- (116) Эта идея заложена в основу предложения использовать так называемые *предложенные уровни рассмотрения (derived consideration levels)* для фауны и флоры, когда эти уровни можно выстроить по шкале зависимости доза-эффект для того, чтобы помочь в *рассмотрении (consideration)* различных вариантов управления с учетом условий облучения и всей другой связанной с этим информации (Pentreath, 1999, 2002, 2003). В этом случае в настоящее время существуют только две базы данных при оценке возможных последствий для фауны и флоры: мощности дозы от естественного фона и мощности дозы, для которых известно, какое конкретное биологическое воздействие они оказывают на индивидуумов. Конечно, этот подход в действительности в значительной степени полагается на сведения о действии средних мощностей доз в интервале колебаний естественного фона; следовательно, есть трудности, которые необходимо преодолеть в случаях, когда отмечается высокая концентрация  $\alpha$ -излучающих нуклидов, содержащихся во многих водных организмах.
- (117) Зоны *предложенных уровней рассмотрения* для референтной фауны и флоры могли бы быть обозначены при объединении данных, выраженных в логарифмическом масштабе, по поясам мощностей доз относительно мощностей доз от природного фона просто как отражение этого подхода, дополненного данными по мощностям доз, с которыми связано конкретное вредное воздействие на репродуктивность, наступление преждевременной смертности (или болезни) или индуцированное видимое повреждение ДНК. Такое объединение в зоны могло бы проводиться, в сущности, на той же основе, что недавно предложено для человека (ICRP, 2001b). В этой основе, если прибавление к мощности дозы исчисляется только долями *их (организмов)* фонового облучения, то оно может рассматриваться как тривиальное и вызывающее небольшую озабоченность. Добавление к мощности дозы величины в пределах естественного фона должно быть оценено тщательно. И, наконец, прибавление к мощности дозы, равное величинам на один, два, три и более числовых порядков выше фона, должно стать причиной растущей тревоги, так как известны отрицательные эффекты облучения в таких дозах у представителей животных и растений (Pentreath, 2002). Этот подход имеет дополнительное преимущество, заключающееся в том, что он не полагается на результаты небесспорной экстраполяции индивидуальных эффектов на более высокие уровни организации (т.е. популяцию, сообщество). Рабочая группа соотносит облучение с фоновым уровнем, касающимся данного вида живых организмов\*. За природный фон часто берется мощность дозы, измеренная в воздухе, а Рабочая группа основывается на дозе, поглощенной в этом организме.

- (118) Необходимо принять во внимание другие факторы, особенно затрагивающие этические, правовые и социальные соображения, а также природу и численность (или долю в локальной популяции) фауны и флоры, которая была подвержена облучению в пределах различных зон; другими словами, все этические, правовые и социальные факторы, а также масштаб территории, которая действительно была подвергнута воздействию ионизирующих излучений или потенциально будет этому подвержена с учетом повышенных доз и специфической природы обитающей на ней фауны и флоры. Это позволит эффективно провести границу между экспертизой радиационной защиты, другими областями биологической и экологической наук и социальными вопросами, такими как права заинтересованных лиц и демократические процедуры. Для референтных типов фауны, таких как наземные млекопитающие, результат может быть похожим на приведенный в табл. 5.1 пример (по Pentreath, 2002).

Таблица 5.1

Примерный вид таблицы «предложенных уровней рассмотрения» для референтных наземных млекопитающих (по работе Р. Я. Пентриза (Pentreath, 2002), модифицировано)

«Предложенный уровень рассмотрения»	Относительные мощности дозы (дополнительные годовые дозы)	Уровень озабоченности
1-й уровень	Менее фона	Низкий. Меры не предусмотрены
2-й уровень	В пределах фона	Низкий. Меры не предусмотрены
3-й уровень	Более чем 10-кратное превышение фона	Озабоченность зависит от природы воздействия, числа и типов подвергнутых облучению индивидуумов; пространственных и временных аспектов и т.д. Меры могут быть предусмотрены при очень высоких относительных дозах

#### 5.4. Развитие общего подхода к защите человека и других живых организмов

- (119) Необходимо, чтобы система радиационной защиты живых организмов\* находилась в соответствии с принципами радиационной защиты человека. Целью общего подхода к радиационной защите человека и других живых организмов, как было предложено еще Р. Я. Пентризом (Pentreath, 2000), могла бы стать **охрана здоровья человека** посредством предотвращения возникающих детерминированных эффектов и ограничения стохастических эффектов для индивидуума и их минимизации в популяции; а также **охрана окружающей среды** путем предотвращения или уменьшения частоты эффектов, связанных с вероятностью преждевременной смертности или снижения репродуктивных потенций среди представителей фауны и флоры, до уровня, при котором эти эффекты оказывали бы пренебрежимо малое воздействие на сохранение видов и поддержание биоразнообразия, а также на здоровье и статус естественной среды обитания или сообществ.
- (120) Развитие такого общего подхода к радиационной защите в целом также оправдало бы усовершенствование общей методологии и создание научной основы для проведения оценок и принятия решений. Таким образом, достижение этих целей может быть направлено на создание системы референтных дозовых моделей, референтных параметров «доза на единицу поступления» и доз внешнего облучения, дополненных набо-

рами референтных данных по дозам и эффектам как для человека, так и для фауны и флоры. Это явилось бы поддержкой как для информационной службы, так и для управления принятием решений в отношении здоровья населения и экологических рисков в одинаковых экологических ситуациях (рис. 5.1).

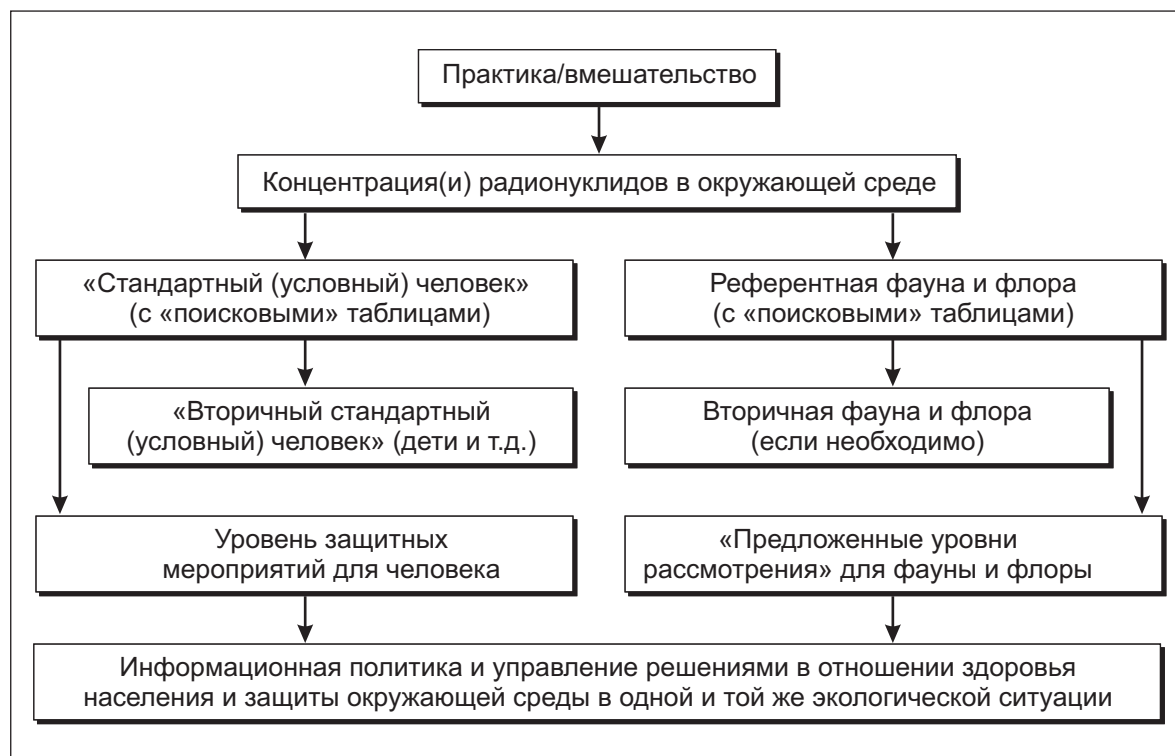


Рис. 5.1. Развитие общего подхода к радиационной защите человека и других живых организмов (по Р. Я. Пентризу (Pentreath, 2001), с небольшими изменениями)

- (121) Любая система радиационной защиты человека и других живых организмов должна, однако, признавать, что общество установило цели защиты окружающей среды, такие как предотвращение выбросов и минимизация производимых отходов. Это может быть связано с минимизацией дозы. В любом случае расширение чётко очерченных научных рамок оценок радиационного риска для живых организмов\* необходимо для поддержки многих существующих международных договоров, национальных законодательств и анализа «затраты-выгоды». К тому же концентрации радионуклидов в окружающей среде могут использоваться в качестве непосредственного показателя её загрязнения и инструмента для оценки эффективности мероприятий по предотвращению загрязнений.

## 6. Обсуждение

### 6.1. Вопросы оценки и управления

- (122) Необходимо представлять, что при любом всеобъемлющем подходе к охране окружающей среды научная оценка экологических последствий будет, конечно, зависеть от этических и демократических решений общества в целом, а также определяться им. Эти решения, следовательно, будут отражать особую культурную среду общества, выраженную в категориях её моральных ценностей и принципов управления. Следовательно, не всегда существует четкое различие между тем, что можно назвать «чисто научным» и «чисто основанным на «ценностях» суждениями, так как научные и общественные взгляды связаны между собой, как обсуждалось в разделе 2.
- (123) Для развития системы оценки повреждающего воздействия ионизирующих излучений на живые организмы\*, которая будет поддерживать управленческие решения, следовательно, полезно сначала провести различие между этими составляющими — *оценкой и управлением*. Это особенно важно, если попытаться понять цель анализа, так как каждая из указанных компонентов может использовать совершенно различную методологию и интерпретацию. Таким образом, компонента «оценка» может потребовать сведений об общих экологических последствиях, тогда как компонента «управление» — подтверждения соответствия специфическим методикам, дозовым пределам или средним концентрациям радионуклидов. Различие между этими двумя компонентами также отражается в современном состоянии рамочных программ защиты окружающей среды в разных странах или выполненных различными организациями.
- (124) В отношении ионизирующей радиации *оценки* могут быть выполнены для анализа последствий, связанных с нахождением радионуклидов в окружающей среде в целом и для конкретных ситуаций или экосистем, в частности. Для этого может потребоваться применение подхода «*эффекты-анализ*», который должен быть ориентирован на точный иерархический уровень биологической организации и охватывает достаточно широкий диапазон биологических эффектов и последствий облучения на различных уровнях. МСР поддержал этот тип оценок и сделал их ключевой компонентой выполняемой в настоящее время работы в рамочной программе по защите окружающей среды (IUR, 2000; Strand et al., 2000). Такой подход принят в проектах FASSET и EPIC, в которых собраны «базы данных по эффектам», соответственно, для главных экосистем Европы и окружающей среды Арктики. Результаты таких оценок по сути имеют «открытые концы», так как они составлены для упрощения передачи данных по экологическим рискам и помощи в принятии решений, хотя впоследствии могут помочь также при выработке более конкретных экологических критериев или стандартов. В свете результатов таких оценок может быть рассмотрен ряд возможных специальных *управленческих действий*.
- (125) *Управленческие* требования могут, например, включать подтверждение соответствия специальным стандартам, основанным на *оценках* ситуации и определении рисков. Разработка стандартов также будет учитывать уравнивание потенциальных рисков и возможных выгод от отдельных действий. Эти действия могут быть простыми или сложными, и для облегчения их использования могут быть введены ярусные подходы. Система ступенчатого градуированного подхода, развитая Департаментом по энергетике США (используя стандартные дозовые пределы) и применяемая для некоторых территорий и предприятий этого ведомства (Jones, 2000; Higley et al., 2003a, b, c; USDOE 2002), и подход, рекомендованный Канадской комиссией по ядерной безопасности её Совещательным комитетом по радиационной защите (ACRP) и основанный на



аспектах ярусного принципа по экотоксикологической оценке риска окружающей среде Канады, дополненные ступенчатым подходом Департамента по энергетике США для некоторых загрязненных территорий вокруг предприятий этого ведомства, — все это вместе взятое иллюстрирует развитую или развиваемую систему как подходящий инструмент. Эти подходы и методологии также обеспечивают данными и информацией, относящимися к принятию различных решений.

- (126) Разница между разнообразными методологиями обычно является в большей степени кажущейся, чем действительной, и зависит главным образом от целей оценки, а не от фундаментальных различий в философии или принципах.

## **6.2. Развитие общего подхода к защите человека и других живых организмов**

- (127) Основной задачей МКРЗ, следовательно, является перепроверка ее существующей системы (и её предложений) для решения, можно ли включить идеи, развиваемые в отношении защиты окружающей среды таким образом, чтобы система могла вписать в себя все имеющиеся и предлагаемые идеи в области оценки риска и управления. Комиссия преуспела в принятии этого вызова, так как хотя и существуют явные различия между этическими, концептуальными и практическими сторонами защиты людей и живых организмов, исключая человека, в отношении ионизирующей радиации, имеется и много общего. Большая часть основных знаний о механизмах воздействия радиации на живую материю была получена в результате исследований организмов иных, чем человек. В равной степени, данные, собранные для человека, могут помочь в развитии системного подхода к защите биоты. Несомненно, существуют явные преимущества развития научной базы для информации по всем аспектам радиационных эффектов, которые могут касаться всех живых организмов.
- (128) Имеются также веские *практические* доводы для гарантии того, чтобы развитие любого подхода к защите живых организмов, исключая человека, согласовалось с системой защиты человека в экологическом контексте. Это позволит избежать развития одной системы, подрывающей другую систему, и даст возможность обеим быть реализованными в одних и тех же общих рамках оценок и управления. Следовательно, необходим всеобъемлющий системный подход для того, чтобы обеспечить такие консультации и разработать руководство высокого уровня. Этот подход должен включать следующие составляющие как для человека, так и для биоты: ясную систему принципов и целей; согласованную терминологию — особенно в отношении количественных параметров и единиц для биоты; ключевые модели референтных доз и связанные с ними наборы данных для определенных доз облучения; обстоятельный анализ категорий данных по радиационным эффектам, связанных с необходимостью оценки воздействия на окружающую среду и человека; руководство по практическому применению этой системы; а также права собственности и управления пересмотром и ревизией в свете новых данных и их интерпретации.
- (129) Следовательно, предлагается, что в качестве исходной задачи МКРЗ берет на себя ответственность за определение и разработку систем данных по оценке воздействия для небольшого числа представителей референтной фауны и флоры. Эти сведения по сути явились бы аналогом «Стандартного (условного) человека» в радиационной защите человека, а число таких представителей могло бы возрастать по мере увеличения объема информации. Целью и задачами первоначального набора референтных организмов были бы составление полной базы данных и уточнение сути вопроса, насколько это возможно из общей биологии и доз, которые могут быть получены ограниченным числом животных и растений, и результирующих радиационных воздействий на них.

Критерии выбора референтных организмов должны быть определены Комиссией, руководствуясь существующими рамочными оценками экологического риска. Системы данных и рекомендации по их использованию касаются небольшого числа организмов, которые типичны для различной природной среды и должны быть представительными для разных путей облучения и основных экологических функций.

(130) Однако, маловероятно, что только лишь использование такого ограниченного набора референтных организмов удовлетворило бы все потребности при проведении оценок воздействия (Pentreath, 2003). Следовательно, этот референтный набор МКРЗ мог бы быть дополнен или подпитан информацией по другим референтным организмам в тех случаях, например, когда существует необходимость оценки воздействия на более широкий круг животных и растений. Такой дополнительный набор может включать представителей местных фауны и флоры для конкретных экосистем с учетом, например, а) среды обитания (леса, пресноводные озера), б) конкретных географических регионов (в частности, Арктика, области с умеренным климатом в Европе), очень специфических типов фауны и флоры (например, для удовлетворения требований или соблюдения конкретных законов о «сохранении природы»). Разработка всех других баз данных по оценке воздействия сильно выиграла бы от их доказанной связи с набором данных МКРЗ.

(131) Одно из возможных преимуществ этого подхода заключается в том, что для любого данного пространственного и временного распределения радионуклидов, от любого источника и в различных ситуациях было бы можно оценить и соответствующую *степень озабоченности* при воздействии радиации на население (на основе «Стандартного (условного) человека»), и «предложенные уровни рассмотрения» для живых организмов\* (на основе референтной фауны и флоры). Эти две «зоны» были бы независимы друг от друга, но анализировались бы дополнительно друг к другу, на основании тех же принципов, которые предопределяют радиационное воздействие на живую материю. Также, в смысле рациональности, каждая из этих двух «зон» была бы связана (или могла быть связана) с одинаковой концентрацией конкретного радионуклида, внутри конкретного вещества в окружающей среде, в любом конкретном месте (рис.5.1). Таким образом, например, данная концентрация одного радионуклида в водной среде привела бы к более низкой зонной ранжировке и для населения, и для фауны и флоры, тогда как для другого радионуклида результат мог бы вести к более высокой зоне для фауны, чем для населения, или наоборот.

(132) По меньшей мере две стороны этого подхода нуждаются в дальнейшем рассмотрении:

- ограничение в рекомендациях по радиационным эффектам в отношении отдельных особей животных или растений, как в случае радиационной защиты человека; и
- ограничение в рекомендациях по мощностям дозы облучения фауны и флоры, если ссылаются на мощности дозы, к которым привязаны наблюдаемые эффекты.

Что касается первого пункта, он **не означает**, что именно индивидуум обязательно является объектом защиты в любом конкретном случае, и имеется несколько причин, вследствие которых было бы трудно дать советы и рекомендации для любого другого биологического уровня организации. Как отмечено в разделе 2, существует большое количество этических, моральных оснований или возражений относительно того, чтобы рассматривать защиту окружающей среды главным образом на уровнях популяции или экосистемы. Во-вторых, вследствие того, что большому числу животных и растений уже предоставлена защита на уровне индивидуума в международных или национальных законах в отношении некоторых форм «ущерба», возникающего вследствие человеческой деятельности, было бы неуместно пытаться давать советы, которые не могли бы использоваться с точки зрения права. В-третьих, чисто с практической точки

зрения даже для того, чтобы попытаться объяснить возможные экологические последствия для индивидуумов или каких-либо животных или растений, облучаемых с мощностью дозы, о которой известно, что она оказывает воздействие на уровне индивидуумов в каких-то особых условиях, потребовалось бы гораздо больше информации нерадиобиологического характера, чем обычно располагают при разработке рекомендаций по радиационной защите. Но это не означает, что такая информация не может быть получена или использована в различных ситуациях национальными или международными органами. Таким образом, любой подход, развитый МКРЗ для оценки доз облучения для индивидуальных организмов и связанных с этим биологических эффектов, должен быть соотнесен с растущим объемом информации о функционировании экосистемы при поддержке решений о последствиях загрязнения для целостности экосистемы.

- (133) Во многих различных случаях может оказаться, что нужно доказать или принять во внимание защищенность живых организмов\*. Так, последствиями, связанными с нахождением радионуклидов в окружающей среде, можно управлять с помощью законов по «контролю выбросов», хотя в некоторых условиях и для отдельных стран может потребоваться другое законодательство — такое, которое возникает из законов «сохранения природы» (Pentreath, 2003). Каждый из этих случаев может потребовать различных подходов, включая те, которые аналогичны основанным на токсичности и экотоксичности и используются в управлении другими видами опасности для окружающей среды. Они могут потребовать разработки местных стандартов окружающей среды — на основе мощностей доз или концентрации радионуклидов в конкретных объектах окружающей среды — для управления особыми ситуациями. Или могут просто потребоваться независимые оценки потенциального действия ионизирующих излучений на интересующие биологические параметры внутри конкретной среды обитания или территории. Но эти решения относятся к числу тех, которые должны приниматься на национальном уровне. Дополнительные и необходимые советы и руководства могут также предоставлены на национальном уровне при проведении различных совещаний. Тем не менее, общему позитивному восприятию и интерпретации таких решений очень бы способствовало то, что все они основывались на некоторой системе референтных методов, моделей и баз данных (или, как было показано, построены на их основе).
- (134) Изложение данных в формате мощностей доз, о которых известно, что они оказывают конкретное радиационное действие на различные типы фауны и флоры, оказалось бы наиболее подходящим и прозрачным способом представления общих рекомендаций. Это может использоваться в правовом поле на национальном уровне, что уже выразилось в разработке «пределов мощностей доз» для окружающей среды, как это сделано в США в результате выполнения их программ по оценке воздействия. Однако, необходимо иметь в виду, что другие страны могут не захотеть следовать такой программе либо в рамках интерпретации законов, либо использования мощностей доз в качестве основы для любых руководств или более строгих форм законодательного контроля.

### 6.3. Последующие шаги Комиссии

- (135) Из вышеизложенного очевидна срочная необходимость развития общего подхода. Это также выполнимо. В последние годы проделана огромная соответствующая работа и отдельными исследователями, и международными и национальными организациями. Существовали специальные исследовательские программы, группы специалистов составили обзоры, проделан анализ большого количества радиэкологических данных, собранных за последние 50 лет. Все эти работы, вместе с деятельностью данной Рабо-

чей группы МКРЗ, обеспечивают основу для развития рамочной программы для защиты и человека, и других живых организмов. Однако, первое, в чем нуждается эта система — ее широкое внедрение, развитие и, надо надеяться, принятие, если будет достигнута некая форма международного консенсуса.

- (136) Нельзя сказать, как и для большей части нашего опыта по радиационной защите, что все важные данные получены и пробелов в знаниях нет. Один из главных пробелов связан с тем, что своевременно не была предпринята какая-либо попытка систематизации данных, касающихся защиты фауны и флоры, как в отношении доз облучения, так и эффектов, связанных с различными конечными точками (эффектами). Уже реализуются некие ограниченные по времени инициативы по решению этой проблемы, но МКРЗ могла бы в сотрудничестве с другими организациями незамедлительно играть главную роль в обработке этой информации в виде, подходящем для развития рамочных программ.
- (137) Особую срочность, как представляется, имеет проблема определения соответствующих количественных параметров и связанных с ними единиц. Недавно был выдвинут ряд предложений (Pentreath, 1999; Kocher and Trabalka, 2000; Trivedi and Gentner, 2000; Thompson et al., 2003). Их принципиальное расхождение состоит не только просто в выборе терминологии, а в концепциях, лежащих в их основе. Выбор величин и их обоснование нуждаются в детальном рассмотрении; научная литература содержит значения, лежащие в диапазоне, простирающемся на порядки величин, и вся проблема требует серьезной оценки и дальнейших исследований.
- (138) Комиссия, следовательно, должна обсудить наилучший способ решения этих и других вопросов в сотрудничестве с другими организациями. Если она намеревается развивать это направление и дальше, она должна рассмотреть, как лучше решать такие вопросы, как выбор первоначальной фауны и флоры и связанные с ними дозовые модели и базы данных. Эти вопросы относятся как к этическим/политическим проблемам, так и к вопросам радиационной биологии (кроме первого), но все они будут нуждаться в более широком обсуждении с руководящими органами высокого уровня, не занимающимися радиологическими проблемами. Также было бы полезно установить какое-то понятное «разделение ответственности» между МКРЗ, НКДАР ООН и МАГАТЭ для того, чтобы избежать дублирования и путаницы.

## 7. Выводы и рекомендации

- (139) Как было показано в этом отчете, уже созрела необходимость создания широкой международной основы для оценки существующего и будущего потенциального воздействия радиации на окружающую среду и управления им. Эта необходимость определяется в некоторых случаях рядом международных и национальных обстоятельств. Некоторые страны уже выполняют свои собственные программы, посвященные этим вопросам, при этом очевидна опасность национальных расхождений как в подходах, так и в базовой интерпретации данных радиационной биологии. Такая раздробленность не будет полезной не только для самого предмета защиты окружающей среды, но и для понимания и объяснения фундаментальной наукой взаимодействия излучения с живой материей, идет ли речь о человеке или других живых организмах.
- (140) Рабочая группа полагает, что существует необходимость развития рамочной программы для оценки радиационных воздействий на живые организмы\*. Эта необходимость не вызвана какой-либо озабоченностью радиационной опасностью для окружающей среды. Скорее такую рамочную программу необходимо разработать для того, чтобы заполнить концептуальный пробел в радиационной защите и чтобы уточнить, каким образом предложенная рамочная программа может содействовать достижению целей общества по защите окружающей среды с помощью политики, основанной на научных и этико-философских принципах.
- (141) Однако, в отличие от ситуации с радиационной защитой человека, значительная часть международного и национальных законодательств уже существует, что определяет главные цели защиты окружающей среды и то, как они могут быть достигнуты. Руководство по защите живых организмов\* от ионизирующей радиации, следовательно, должно быть изменено таким способом, чтобы достичь поставленных целей. Такое руководство также должно находиться в согласии с научно обоснованным пониманием взаимосвязи между облучением, дозами и радиационными эффектами, которые используются в качестве основы в радиационной защите человека. Руководство также должно быть составлено настолько убедительно, чтобы оно вызывало доверие между лицами или органами, принимающими решение, и общественностью. Это требует прозрачной и последовательной демонстрации того факта, что облучение живых организмов\* в различных ситуациях может быть правильно описано и выражено количественно, а фактические или возможные последствия для биоты могут быть оценены или, при необходимости, управляемы. Во многих случаях это необходимо сделать независимо от того, нужно ли проводить аналогичные оценки воздействия для человека. Часто это та же самая ситуация, что и с защитой окружающей среды от других вредных воздействий, загрязнителей и т.д., и нет оснований использовать для радионуклидов иной метод оценки последствий. Цель подхода референтной фауны и флоры — дать разным странам возможность оценивать и защищать окружающую среду согласно их национальным требованиям, используя при описании радиационных эффектов для различных типов животных и растений общее понимание, принятое на международном уровне.
- (142) Несомненно, что Комиссия заняла одно из ведущих мест в разработке руководства по средствам, методам и базам данных для проведения оценок доз для биоты и оценок риска, которые могут быть приемлемы в целом и которые могут объединить защиту человека и других живых организмов в согласованной рамочной программе. Предпосылкой является то, что МКРЗ признает необходимость разработки такого руководства для граждан, регулирующих и внедряющих органов, а также обязательность их осведом-

ленности и участия в этом процессе. Для этого потребуется расширить действующую систему оценки МКРЗ в целях ясности и демонстрации того, что воздействие на живые организмы\* можно оценить прямо и что уровень защиты можно определить прозрачным способом. Это, в свою очередь, требует развития системы оценки рисков для живых организмов\*. В последнем случае МКРЗ должна также признать необходимость развития соответствующих работ в других областях защиты окружающей среды.

(143) Таким образом, Комиссия должна играть особую роль, которая связана с необходимостью выработки глубоко эшелонированной политики и подготовки рекомендаций и соответствующих документов, направленных на обеспечение радиационной защиты человека. Эти рекомендации и документы подкрепляются ключевыми наборами данных и моделями. Для того, чтобы развивать основные положения по оценке воздействия ионизирующих излучений на живые организмы\* и по защите от вредных воздействий ионизирующей радиации, Комиссии, следовательно, необходимо пересмотреть ее действующую в настоящее время систему защиты, особенно:

- развивать всесторонний подход к изучению воздействия ионизирующей радиации на все живые организмы и их защиты от её влияния;
- развивать систему радиационной защиты, которая включала бы защиту живых организмов\*, содержащую цели и принципы, а также согласованный набор количественных параметров и единиц, применимых ко всем живым организмам;
- интерпретировать основные знания по радиационному воздействию на живые организмы, отличающиеся от человека, таким образом, чтобы их можно было бы использовать в экологическом контексте, например, при разработке критериев или основополагающих позиций защиты на соответствующем уровне иерархии (индивидуальном или популяционном);
- сформировать небольшой набор первичной референтной фауны и флоры, а также их соответствующие базы данных таким образом, чтобы при применении последующих наборов можно было охватить и другие области — ситуационные специфические обстоятельства, требующие оценки рисков и управления ими для живых организмов\*;
- демонстрировать свои обязательства по защите живых организмов\* и отражать это в организации соответствующей работы и составе экспертов; и
- планировать составление регулярных обзоров и пересмотры этой новой системы по мере углубления знаний.

(144) Система защиты МКРЗ развивается по мере того, как становятся доступными новые данные и возрастает наше понимание механизмов соответствующих явлений. Следовательно, оценки риска Комиссией регулярно пересматриваются, а существенная ревизия выполняется с интервалами около 10–15 лет. Значит, вероятно, что любая система, разработанная для радиационной защиты окружающей среды, потребует для развития какого-то времени и аналогично будет подвергнута пересмотру по мере получения новой информации и накопления опыта использования ее на практике.

## Литература

ACRP (2002) *Protection of Non-Human Biota From Ionizing Radiation*. Advisory Committee on Radiation Protection of the Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), INFO-0730, Ottawa, ON. 2002.

Amiro, B.D., Zach, R. (1993) A method to assess environmental acceptability of releases of radionuclides from nuclear facilities // *Environ. Int.* 1993. 19. P. 341–358.

Amiro, B.D. (1997) Radiological dose conversion factors for generic non-human biota used for screening potential radiological impacts // *J. Environ. Radioact.* 1997. 35. P. 37–51.

Barnthouse, L.W. (1995) *Effects of Ionizing Radiation on Terrestrial Plants and Animals: A Workshop Report*. Environmental Sciences Division, ORNL/TM-13141, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA. Spons. by US Department of Energy. 1995.

Bergonie, J., Tribondeau, L. (1906) Interpretation de quelques resultats de la radiotherapie // *Comptes Rendus Acad. Sci.* 1906. 143, 983.

Bird, G.A., Thompson, P.A., Macdonald, C.R., et al. (2003) *Assessment of the impact of radionuclide releases from Canadian nuclear facilities on non-human biota*. Third International Symposium on Protection of the Environment from Ionizing Radiation. (SPEIR 3). IAEA Vienna, Austria. 2003. P. 241–247.

Brechignac, F. (2001) Impact of radioactivity on the environment: problems, state of knowledge, and approaches for identification of radioprotection criteria // *Radioprotection*. 2001. 36. P. 511–535.

Brechignac, F. (2002a) Environment vs. man radioprotection: the need for a new conceptual approach. In: Brechignac, F. (Ed.), *The Radioecology-Ecotoxicology of Terrestrial and Estuarine Environments*, vol. 37. Radioprotection Colloques. EDP Sciences, Paris. 2002. P. 161–166.

Brechignac, F. (2002b) Protection of the environment: how to position radioprotection in an ecological risk assessment perspective // *Sci. Total Environ.* 2002. 307. P. 35–54.

CEAA (1992) *Canadian Environmental Assessment Act to Establish a Federal Environmental Assessment Process. Bill C-13*. Statutes of Canada 1992. Chap. 37.

CEC (1985) Council Directive 85/337/EEC of 27 June on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. Official Journal L 175, 05/07/1985. P. 0040–0048.

CEC (1992) Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal L 206, 22/07/1992, P. 0007–0050.

CEC (1996a) Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the danger arising from ionizing radiation. Official Journal L 159, 29/06/1996. P. 0001–0114.

CEC (1996b) Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control. Official Journal L 257, 10/10/1996. P. 0026–0040.

CEC (2000) Council Directive 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy. Official Journal 327, 22/12/2000. P. 1–73.

CEPA (1999) *Canadian Environmental Protection Act*, 1999. Chap. C-15.31. Department of Justice, Ottawa, ON. 1999. P. 33).

Clarke, R. (1999) Control of low-level radiation exposure: time for a change? // *J. Radiol. Prot.* 1999. 19, P. 107–115.

Copplestone, D., Bielby, S., Jones, S.R., et al. (2001) Impact assessment of ionising radiation on wildlife. Environment Agency (UK) R&D Publ. 128. 2001. 222.

De Shalit, A.D. (2000) *The Environment: from theory to practice*. Oxford University Press, Oxford, UK. 2000.

Goodhead, D.T. (1994) Initial events in the cellular effects of ionising radiations: clustered damage in DNA // *Int. J. Radiat. Biol.* 1994. 65. P. 7–17.

Higley, K.A., Domotor, S.L., Antonio, E.J., et al. (2003a) Derivation of a screening methodology for evaluating radiation dose to aquatic and terrestrial biota. // *J. Environ. Radioact.* 2003. 66. P. 41–59.

Higley, K.A., Domotor, S.L., Antonio, E.J., et al. (2003b) A kinetic-allometric approach to predicting tissue concentrations for biota. // *J. Environ. Radioact.* 2003. 66. P. 61–74.

Higley, K.A., Domotor, S.L., Antonio, E.J., et al. (2003c) A probabilistic approach to obtaining limiting estimates of radionuclide concentrations in biota. // *J. Environ. Radioact.* 2003. 66. P. 75–87.

Holm, L.-E., Hubbard, L., Larsson, C.-M., et al. (2002) Radiological protection of the environment from the Swedish point of view. // *J. Radiol. Prot.* 2002. 22. P. 235–248.

IAEA (1976) *Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms and Ecosystems. Technical Reports Series No. 172*. IAEA, Vienna, Austria. 1976.

IAEA (1979) *A Methodology for Assessing Impacts of Radioactivity on Aquatic Ecosystems. Technical Reports Series No. 190*. IAEA, Vienna, Austria. 1979.

IAEA (1985) *Sediment  $K_d$ s and Concentration Factors for Radionuclides in the Marine Environment. Technical Report series No. 247*. IAEA, Vienna, Austria. 1985.

IAEA (1988) *Assessing the Impact of Deep Sea Disposal of Low Level Radioactive Waste on Living Marine Resources. Technical Report Series No. 288*. IAEA, Vienna, Austria. 1988.

IAEA (1992) *Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Reports Series No. 332*. IAEA, Vienna, Austria. 1992.

IAEA (1995) *The Principles of Radioactive Waste Management. IAEA Safety Series No 111. F*. IAEA, Vienna, Austria. 1995.

IAEA (1996) *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No. 115*. IAEA, Vienna, Austria. 1996.

IAEA (1999) *Protection of the Environment from the Effects of Ionizing Radiation. IAEA-TECDOC-1091*. IAEA, Vienna, Austria. 1999.

IAEA (2002a) *Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation. IAEA-TECDOC-1270*. IAEA, Vienna, Austria. 2002.

IAEA (2002b) *Special Meeting on Protection of the Environment from the Effects of Ionizing Radiation: International Perspectives, IAEA-723-J9-SP-114.3*. IAEA, Vienna Austria. 2002.



- ICRP (1975) *Reference Man: Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics*. ICRP Publication 23. Pergamon Press, Oxford, UK. 1975.
- ICRP (1977) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3). 1977.
- ICRP (1991) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1–3). 1991.
- ICRP (1994) Human respiratory tract model for radiological protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1–3). 1994.
- ICRP (1995) Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: the skeleton. ICRP Publication 70, Ann. ICRP 25 (2). 1995.
- ICRP (1998a) Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77, Ann. ICRP 27 (Suppl.). 1998.
- ICRP (1998b) Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81, Ann. ICRP 28 (4). 1998.
- ICRP (1999) Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82, Ann. ICRP 29 (3–4). 1999.
- ICRP (2001a) Doses to embryo and fetus from intakes of radionuclides by the mother. Ann. ICRP 31 (1–3). 2001.
- ICRP (2002b) A report on progress towards new recommendations: a communication from the International Commission on Radiological Protection. // *J. Radiol. Prot.* 21. P. 113–123. 2002.
- ICRP (2002) Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. ICRP Publication 89, Ann. ICRP 32 (3–4). 2002.
- IUCN (1980) *World Conservation Strategy 1980. Living Resources Conservation for Sustainable Development*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN), Switzerland. 1980.
- IUR (2000) *Doses and Effects in Non-Human Systems*. International Union of Radioecology, Oslo, Norway. 2000.
- IUR (2001) *Statement from the Consensus Conference on Protection of the Environment. Radiation Protection in the 21<sup>st</sup> Century: Ethical, Philosophical and Environmental Issues*. Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, Norway. 2001.
- Jones, D.S. (2000) Radiological benchmarks for effects on aquatic biota at the Oak Ridge Reservation. *Human Ecol. Risk Assess.* 2000. 6. P. 789–807.
- Jones, D.S., Domotor, S.L., Higley, K.A., et al. (2003) Principles and issues in radiological ecological risk assessment. // *J. Environ. Radioact.* 2003. 66. P. 19–39.
- Kocher, D.C., Trabalka, J.R. (2000) On the application of a radiation weighting factor for alpha particles in protection of non-human biota. // *Health Phys.* 2000. 79. P. 407–411.
- Linsley, G., Torres, C. (2001) The International Atomic Energy Agency's Programme on Biosphere Modelling and Assessment (BIOMASS). // *Proceedings of the Radioecology-Ecototoxicology of Continental and Estuarine Environments (ECORAD 2001)*. Radioprotection colloques. 2001. 37. Cl. P.133–139.

NCRP (1991) *Effects of Ionising Radiation on Aquatic Organisms*. Report 109. National Council on Radiation and Measurements, Bethesda, MD. 1991. 115 p.

NRC (1993) *Setting Priorities for Land Conservation*. US National Academy of Sciences Press. Washington, DC, USA. 1993.

NRC (1996) *Understanding Risk in a Democracy*. National Academy Press. Washington, DC, USA. 1996.

OECD (1995) *The Environmental and Ethical Basis for Geological Disposal*. OECD-NEA. Paris, France. 1995.

OECD (2000) *A Critical Review of the System of Radiation Protection*. Committee on Radiation Protection and Public Health. OECD-NEA, Paris. 2000.

OECD (2002) *Radiation Protection of the Environment — the Path Forward to a New Policy?* NEA Forum, Taormina, Italy, 12–14 February 2002.

OSPAR (1992) *OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*. OSPAR Commission, London, UK. 1992.

OSPAR (1998) *OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*. Ministerial Meeting of the OSPAR Commission, Sintra, 22–23 July 1998.

Pentreath, R.J. (1998) Radiological protection criteria for the natural environment. *Radiol. Prot. Dosim.* 1998. 75. 175–179.

Pentreath, R.J. (1999) A system for radiological protection of the environment: some initial thoughts and ideas. // *J. Radiol. Prot.* 1999. 19. 117–128.

Pentreath, R.J. (2002) Radiation protection of people and the environment: developing a common approach. // *J. Radiol. Prot.* 2002. 22. 1–12.

Pentreath, (2003) *Evaluation the Effects of Ionizing Radiation Upon the Environment*. // Third International Symposium on the Protection of the Environment from Ionizing Radiation (SPEIR 3). IAEA, Vienna, Austria. 2003.

Pentreath, R.J., Woodhead, D.S. (1988) Towards the development of criteria for the protection of marine fauna in relation to the disposal of radioactive wastes into the sea. *Radiat. Protect. Nuclear Energy (IAEA, Vienna)*. 1988. 2. 213–243.

Pentreath, R.J., Woodhead, D.S. (2001) A system for protecting the environment from ionising radiation: selecting reference fauna and flora, and the possible dose models and environmental geometries that could be applied to them. *Sci. Total Environ.* 2001. 277. 33–43.

Pihet, P. (1998) Environmental and occupational dosimetry: an integrated approach to radiation protection covering radioecology, dosimetry and biological effects. A joint concerted action of EULEP. EURADOS and IUR in the Nuclear Fission Safety Programme of the European Commission. *Newsletter EULEP EURADOS UIR* 1998. 3. 9–10.

Rawls, J. (1971) *A Theory of Justice*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA. 1971.

Сазыкина Т.Г., Крышев И.И. (1999). Оценка контрольной концентрации радионуклидов в морской воде с учетом гигиенических и радиозэкологических критериев. // *Атомная энергия*. 1999. Т. 87. Вып. 4. С. 302–307.

Shrader-Frechette, K. (1994) Risk and ethics. In: Lindell, B. (Ed.), *Radiation and Society*. IAEA, Vienna, Austria. P. 167–182. 1994.

- Stilling, P. (1999) *Ecology Theories and Applications*. 3<sup>rd</sup> edn. Prentice Hall. Upper Saddle River. NJ. 1999.
- Strand, P., Brown, J.E., Woodhead, D.S., et al. (2000) *Delivering a System and Framework for the Protection of the Environment from Ionising Radiation*. Tenth International Congress of the IRPA. Hiroshima, Japan, 14–19 May 2000, P-2a-116. 5 p.
- Strand, P., Larsson, C.-M. (2001) Delivering a framework for the protection of the environment from ionising radiation. In: Brechignac, F., Howard, B.J. (Eds.) *Radioactive Pollutants. Impact on the Environment*. EDP Sciences, Les Ulis, France. 2001.
- Suter II, G.W. (1999) Developing conceptual models for complex ecological risk assessments. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 1999, 5. P. 375–396.
- Thompson, P.A., Macdonald, C.R., Harrison, F. (2003) *Recommended RBE Weighting Factor for the Ecological Risk Assessment of Alpha-Emitting Radionuclides*. In: Third International Symposium on Protection of the Environment from Ionizing Radiation (SPEIR 3). IAEA, Vienna, Austria. 2003.
- Trivedi, A., Gentner, N.E. (2000) *Ecodosimetry Weighting Factor (er) for Non-human Biota*. Tenth International Congress of the IRPA, 14–19 May 2000, Hiroshima, Japan, 2000, P-2a-114. 8 p.
- UN (1945) *Charter of the United Nations*. United Nations, San Francisco, USA. 1945.
- UN (1972) *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment 21st Plenary Meeting*. The United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm. United Nations, New York, NY. 1972.
- UN (1992) *Rio Declaration on Environment and Development, Rio de Janeiro*. United Nations, New York, NY. 1992.
- UNSCEAR (1986) *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. United Nations, New York, NY, USA. 1986.
- UNSCEAR (1996) *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annex*. United Nations, New York, NY, USA. 1996.
- UNSCEAR (2000) *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes*. United Nations, New York, NY, USA. 2000.
- UNSCEAR (2001) *Hereditary Effects of Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annex*. United Nations, New York, NY, USA. 2001.
- USDOE (1993) *Radiation Protection of the Public and the Environment. DOE Order 5400.5*. US Department of Energy, Washington, DC, USA. 1993.
- USDOE (1996) Radiation protection of the public and the environment. *Federal Register* 61 (36). 6799–6801. 1996.
- USDOE (2002) *A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota, Technical Standard DOE-STD-1153-2002*. US Department of Energy, Washington, DC, USA. 2002
- Van der Stricht, E., Kirchmann, R. (2001) *Radioecology: Radioactivity and Ecosystems*. Fortemps, Liege, Belgium. 2001.
- Webster, S. (2000) Environmental impact assessment and geological repositories — a model process. International Conference of the Safety of Radioactive Waste Management, Cordoba, Spain, 13–17 March, International Atomic Energy Agency. P. 294–297. IAEA-CN-78. 2000.

Waste Convention (1997) Joint Convention on the Safety of Spent Nuclear Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. INFCIRC1546. IAEA, Vienna, Austria. 1997.

Woodhead, D.S. (1973) The radiation dose received by plaice (*Pleuronectes platessa*) from the waste discharged into the north-east Irish sea from the fuel reprocessing plant at Windscale. // *Health Phys.* 1973, 25. 115–121.

Woodhead, D.S. (1979) Methods of dosimetry for aquatic organisms. In: *Methodology for Assessing Impacts of Radioactivity in Aquatic Ecosystem, IAEA Technical Report 190*. IAEA, Vienna, P.43–96. 1979.

World Commission on Environment and Development (1987). *Our Common Future (The Brundtland Report)*, Oxford University Press, Oxford, UK. 1987.