

ЦЕНТР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РОССИИ

Программа по ядерной и радиационной безопасности  
Социально-экологического Союза

Серия «АТОМНАЯ МИФОЛОГИЯ»

**А.В. Яблоков**

**МИФ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЕ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Москва  
2001

**УДК 621.039**

**ББК 31,4**

**Я 13**

**Яблоков А.В.** Миф об экологической чистоте атомной  
**Я 13** энергетики. М., Учебно-методический коллектор «Психология»,  
2001. 136 с. Рис.15, Табл.28, Библ. 204

ISBN 5-93692-028-3

Брошюра посвящена развенчанию мифа об экологической чистоте атомной энергетики. На большом фактическом материале показано, что в ходе нормальной эксплуатации любая АЭС выбрасывает огромное количество разных радионуклидов, среди которых есть «глобальные» и «вечные». Вокруг любой АЭС можно инструментально проследить радиоактивное загрязнение тритием, радиоуглеродом, продуктами коррозии реактора и трубопроводов. Несмотря на малые концентрации, эти радионуклиды могут, представлять опасность для природы и человека. Рассмотрены имеющиеся данные по влиянию АЭС на природу и человека. Общий вывод: по удельному количеству отходов, по проблемам, связанным с хранением этих отходов, а также по долгосрочным и глобальным последствиям выбросов радионуклидов, производство электричества на АЭС является одной из самых грязных из когда-либо существовавших промышленных технологий.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся проблемами экологии и энергетики, а также на проживающих рядом с АЭС.

Программа по ядерной и радиационной безопасности Социально-экологического Союза и Центр экологической политики России будут признательны всем лицам, которые пришлют свои конструктивные критические замечания по содержанию брошюры в Центр экологической политики России (Москва, 117808, ул. Вавилова, д.26; факс (095) 952-30-07).

E-mail: anzuz@online.ru; yablokov@online.ru.

*Начало издания серии стало возможным благодаря поддержке  
Центра экологической политики России и благотворительным фондам  
Винстона и Алтона Дженсона.*

ISBN 5-93692-028-3

© А.В. Яблоков

© Центр экологической политики России

## Содержание

<b>Предисловие к серии</b>	7
<b>Введение</b>	10
<b>Глава 1. Масштабы радиоактивных выбросов АЭС</b>	13
1.1. Масштабы газо-аэрозольных выбросов АЭС	13
1.2. Масштабы образования жидких отходов	18
1.3. Масштабы образования твердых отходов	20
<b>Глава 2. Радиоактивное загрязнение вокруг АЭС</b>	23
2.1. Распространение цезия, стронция и других нуклидов вокруг АЭС	24
2.2. Уровни облучения вокруг АЭС	32
<b>Глава 3. Ядерные энергетические установки на земле и в космосе</b>	37
3.1. Радиоизотопные термоэлектрогенераторы на земле	37
3.2. Ядерные энергетические установки в космосе	41
<b>Глава 4. Так ли мало техногенное облучение?</b>	43
4.1. Доля АЭС в дополнительном облучении	43
4.2. Опасные доли процента	51
4.2.1. Устранение радиочувствительных особей	51
4.2.2. Влияние малых доз	54
4.2.3. О влиянии синэргизма	55
4.3. Об опасностях, связанных с короткоживущими радионуклидами	57
4.4. Об «инертных» радиоактивных газах	58
4.5. О «глобальных» радионуклидах	59
4.6. О «вечных» радионуклидах	65

<b>Глава 5. Влияние работающих АЭС на живые организмы.</b>	69
5. 1. Опасность биоаккумуляции радионуклидов	70
5.2. Влияние на растительность	75
5. 3. Влияние на животный мир	77
5. 4. Влияние на микроорганизмы.	80
5. 5. Тепловое загрязнение от АЭС	80
5. 6. Гибель гидробионтов на водозаборах АЭС	83
<b>Глава 6. Влияние АЭС на здоровье населения</b>	85
6.1. Данные по США	87
6. 2. Данные по Германии	92
6. 3. Данные по другим странам	95
6. 4. А что в СНГ?	96
6. 5. Риск для человека от искусственной радиации?	102
6.5.1. Официальные риски ядерных технологий	105
6.5.2. Реальные риски ядерных технологий	106
6.5.3. Возможный масштаб жертв атомной индустрии	108
<b>Глава 7. Сравнение «экологической чистоты» тепловой и атомной энергетики</b>	111
7.1. О радиационном эффекте угольной энергетики	111
7.2. Сравнение величины выбросов угольной и атомной энергетики	113
7.3. АЭС - средство борьбы с изменением климата?	117
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	122
Литература	124
Приложение	135

Seria «NUCLEAR MYTHOLOGY»

Alexey V. YABLOKOV

MYTH ON ENVIRONMENTAL SAFETY OF NUCLEAR POWER

<b>Preface to the «Nuclear Mythology» seria</b>	7
<b>Introduction</b>	10
<b>Chapter 1. Scale of radio-pollution originated by NPPs</b>	13
1.1. Gas-aerosol' discharges	13
1.2. Liquid radio-waste's scale	18
1.3. Solid radio-waste's production	20
<b>Chapter 2. Radioactive pollution around of the Nuclear Power Plants</b>	23
2.1. Expansion of cesium, strontium and others radionuclides around NPPs	24
2.2. Irradiation levels around NPPs	32
<b>Chapter 3. Nuclear electricity sources on the land and in space</b>	37
3.1. Thermonuclear electricity generators (RTGs)	37
3.2. Nuclear energy sources in Space	41
<b>Chapter 4. How serious is technogenic radioactivity</b>	43
4.1. NPP' contribution into radioactive -pollution	43
4.2. The dangerous «parts of percent»	51
4.2.1. Withdrawing of radiosensitive individuals	51
4.2.2. Low dose's influence	54
4.2.3. Influence of synergism	55
4.3. The danger of short-living radionuclides	57
4.4. About «inert» radioactive gases	58
4.5. About «global» radionuclides	59
4.6. About «eternal» radionuclides	65

<b>Chapter 5. The NPP' impact on leaving nature</b>	69
5.1. Danger of the radionuclides' bioaccumulation	70
5.2. Impact on vegetation	75
5.3. Impact on animal life	77
5.4. Impact on microorganisms	80
5.5. The thermal pollution	80
5.6. Destroying hydrobiontes in the water-cooling systems	83
<b>Chapter 6. The NPP's impact on public health</b>	85
6.1. Data for USA	87
6.2. Data for Germany	92
6.3. Data for other countries	95
6.4. What situation in the CIS?	96
6.5. The thechnogenic radiation risk for public health	102
6.5.1. Official nuclear risks	105
6.5.2. Real nuclear risks	106
6.5.3. Possible scale of nuclear industry's victims	108
<b>Chapter 7. Comparison of environmental performance thermo - and nuclear electricity</b>	111
7.1. Radioactive effects of the coal-power stations	111
7.2. Comparison the coal-power' and nuclear stations radioactive discharge	113
7.3. Can nuclear power help to fight the climate change?	117
<b>Conclusions</b>	122
<b>Literature</b>	124
<b>Appendix:</b>	
The main sources of the radionuclides in Biosphere	135

## ПРЕДИСЛОВИЕ К СЕРИИ

В последние годы в печати появляется все больше статей и выступлений, направленных на реабилитацию в общественном сознании атомной энергетики. Выполняя специальный пункт Постановления Правительства России от 21 июля 1998 г. № 815 «Об утверждении Программы развития атомной энергетики Российской Федерации на 1998 – 2005 годы и на период до 2010 года» о мерах по созданию благоприятного общественного климата для развития атомной энергетики, пропагандисты ядерных технологий убеждают нас в их исключительной безопасности, необходимости и экономической выгоде, добавляя при этом, что *«пора забыть Чернобыль»*.

Атака на общественное мнение достигла такой силы, что кое-кому может и в самом деле показаться, что ядерные технологии - благо для общества. Возникла реальная опасность того, что в массовом сознании в результате настойчивой пропаганды могут возникнуть своего рода клише, такие, например, как: *«Без атомной энергетики человечеству не выжить»*, *«Атомная энергетика - экологически чистая энергетика»*, *«Атомная энергетика – эффективный способ борьбы с изменением климата»*, или *«Атомные программы экономически высокоэффективны»*, *«Атомная индустрия - стеновой хребет России»*.

Эти атомные мифы опасны для России, поскольку создают обстановку, способствующую принятию недальновидных решений. И такие решения, например, по развитию атомной энергетики, уже стали приниматься (например, уже упомянутое выше постановление Правительства № 815, решение правительства от 25 мая 2000г. одобрившее мало реалистичную стратегию развития Минатома до 2030 г.). Под давлением Минатома в правительстве и Федеральном Собрании рассматриваются предложения, в случае принятия которых будет открыта дверь в Россию для радиоактивных отходов и материалов других государств. Контраргументы «зеленых» не слышны в кабинетах, где принимаются решения.

Поэтому **первая из трех главных задач** настоящей серии - информация лиц, принимающих решения в области атомной индустрии.

**Вторая задача** серии - информирование «зеленого» движения и предоставление активистам-экологам аргументов и фактов в области ядерной энергетики и атомных технологий в целом.

**Третья задача** серии - информирование самих атомщиков («атомщика-ми» называют сами себя работники Минатома России, даже в подзаголовке своей газеты «АТОМПРЕССА» они пишут: «Газета Российских атомщиков»). В их критических откликах на публикации и выступления «зеленых» по ядерным проблемам часто обнаруживается явная ограниченность только близкой каждому из них областью. Ядерщики-энергетики не знают об опасных последствиях подземных ядерных взрывов, а ядерщики - «бомбоделы» не знают о влиянии сверхмалых доз радиации на живые организмы. Те и другие всерьез не анализировали проблему радиоактивных отходов.

Из сказанного выше ясно, что настоящая серия – научно-практическое издание. Это обстоятельство не просто позволяет, но прямо заставляет автора не придерживаться сухого стиля изложения, и широко использовать не только научные издания, но и интервью, ведомственные отчеты, сообщения средств массовой информации.

\*\*\*

История серии брошюр, одну из которых читатель видит перед собой, такова. В сентябре 1994 г. газета «Известия» опубликовала мою статью «Атомная мифология». Первый вице-премьер Правительства России официально попросил Президента Российской академии наук организовать обсуждение этой статьи. Готовясь к нему, я продолжал собирать материал и в феврале 1995 г. в журнале «Новый мир» опубликовал расширенный вариант статьи. Еще одна журнальная версия книги появилась на немецком языке в 1995 г. на страницах специального приложения к журналу «Шпигель» (Германия). Второе русское издание книги вышло в свет в «Бюллетене Комиссии по разработке научного наследия академика В.И.Вернадского» (№13, 1995) по инициативе председателя этой Комиссии А.Л. Яншина. Третье (второе книжное) издание книги появилось на свет в Издательстве «Наука» в 1997 г.

При работе над четвертым изданием стало ясно, что необходимость включения нового материала резко увеличивает объем всей работы. Так возникла идея создать вместо одной очень толстой книги серию брошюр под тем же общим названием – «Атомная мифология».

Ранее мною были выделено 12 «атомных мифов»:

- о безопасности ядерных реакторов,
- об экологической чистоте атомной энергетики,
- о безопасности малых доз радиации,



- о незначительности чернобыльской катастрофы;
- об экономической эффективности атомных программ,
- о необходимости переработки отработавшего ядерного топлива,
- о необходимости строительства АЭС,
- о решении проблемы радиоактивных отходов,
- о безопасности и эффективности подземных ядерных взрывов,
- о миролюбии атомной энергетики,
- о Минатоме, как становой отрасли России,
- об объективности МАГАТЭ.

Все они с привлечением большого нового материала будут представлены в настоящей серии.

Подготовке первых изданий «Атомной мифологии» прямо и косвенно способствовали многие десятки лиц, полный список которых приведен в издании 1997 г. В дополнение к уже приведенному списку я должен добавить В.М. Котлова (Москва), В.Тихонова (Санкт-Петербург), А. Korablein (Мюнхен, Германия). Я глубоко признателен редактору серии И.А. Реформатскому, чьи критические замечания способствовали устранению досадных ошибок. В этой брошюре я воспользовался помощью В.Г. Петина, В.И.Булатова, Н.И. Кутеповой, И.В. Лисовского (представившего часть материалов для раздела о РИТЭГах) Б.Смирнова (Bill Smirnoff, Нью-Йорк, США), М.А. Пискунова, Е.Ю. Крысанова, Е.Я.Симонова, Ж.А. Медведева (Лондон), А.Г.Васильева, которым я приношу глубокую благодарность, как и моим помощникам из Центра экологической политики России – Р.Д. Филипповой, Д.В. Щепоткину и И.В. Лебедевой.

Алексей Яблоков  
Москва - Петрушово  
Октябрь 2000 г.

## ВВЕДЕНИЕ

То, что ядерная энергетика «экологически чистая», — настоящий миф. Он не станет истиной даже несмотря на то, что одна из российских государственных ядерных программ (как до чернобыльских, советских, так современных) Министерства науки и технической политики так и называется «*Экологически чистая энергетика*». Несомненным достоинством АЭС является значительно меньшее количество выбрасываемого углекислого газа. Но это только малая, и, пожалуй, единственно приятная часть правды о влиянии АЭС на окружающую среду.

«Работающие во многих странах АЭС...являются источниками практически незаметного (*подчеркнуто мной - А.Я.*) загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами вблизи АЭС».

*Из 4-го издания «Справочника по радиационной безопасности» В.Ф. Козлова (Энергоатомиздат, Москва, 1991, с.108).*

«...*Многолетний опыт эксплуатации АЭС во всех странах показывает, что они практически не оказывают заметного вредного влияния на окружающую среду*... (подчеркнуто мною - А.Я.).

*Из обзора «Обсуждение состояния и перспективы развития атомной энергетики мира на 17-м конгрессе Мирового энергетического совета». (Бюлл. Центра общественной информации по атомной энергетике, №12, сс. 11-18).*

Любая, даже идеально работающая АЭС, оказывает специфическое, отличное от всех остальных крупных промышленных сооружений, влияние на окружающую среду в результате распространения вновь образованных радионуклидов по трем направлениям:

- распространение радионуклидов с газо-аэрозольными\* выбросами в атмосферу («через трубу»);

---

\* Здесь и далее правильнее – аэрозольные выбросы (Прим. Ред.)

- распространение радионуклидов с жидкими отходами (водой);
- распространение радионуклидов с твердыми радиоактивными отходами, как образующимися в ходе эксплуатации АЭС, так и при ее разборке и утилизации (включая проблему хранения и переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) которое в большинстве стран мира также считается отходами АЭС).

При производстве 1 ГВт·год электроэнергии в атомном реакторе любой АЭС в результате деления атомов урана образуется около 1 т. радиоактивных продуктов деления и коррозии, активностью в среднем около  $10^{19}$  беккерелей (Бк) или 300 млн. кюри (Ки) (Маргулис, 1988; Иванов, Петров, 1999), включающих около 300 различных радиоактивных изотопов 36 элементов периодической системы (Ильин, Филов, 1990). Одни из них живут доли секунды, другие – миллионы лет. Попадая в биосферу, они сами, или продукты их распада, в конце концов, оказываются вовлеченными в тонкие биохимические и биофизические процессы, текущие внутри каждого живого организма. Некоторых из них ранее не было в биосфере в скольнибудь заметных концентрациях, они являются опасными для живого даже в малых дозах, поскольку могут серьезно нарушать отлаженные в течение миллиардов лет эволюции процессы обмена веществ.

С каждым вдохом в наш организм попадают теперь созданные нами атомы криптона-85, с каждым глотком воды – молекулы воды, в которой обычный водород замещен техногенным радиоактивным изотопом – тритием ( $^3\text{H}$ ). Утверждать, что все это безопасно, только потому, что у атомщиков и общества не нашлось денег, чтобы выяснить все последствия такого вторжения, по меньшей мере, безответственно.

Основное отличие радиоактивного вторжения человека в биосферу состоит в том, что:

- радионуклиды с большей легкостью, сравнительно с другими видами загрязнений, нарушают наследственные молекулы, – и последствия их даже мгновенного влияния могут передаваться из поколения в поколение, увеличивая генетический груз в популяциях;
- некоторые радионуклиды, раз созданные человеком, будут существовать на протяжении десятков тысяч и даже миллионов лет; последствия появления в биосфере таких «вечных» радионуклидов современная наука не в состоянии предвидеть;
- некоторые радионуклиды, появившиеся в результате деления ядер урана, распространяются по всей планете, создавая проблему «глобальных» радионуклидов; последствия их распространения в биосфере далеко не ясны.

С каждым годом открываются все новые и новые аспекты влияния радионуклидов на биосферу и человека. Анализу ставших известными масштабов и экологических последствий этого влияния и посвящена, в основном, настоящая работа. Поскольку ядерная энергетика в широком смысле слова включает также и радиоизотопные источники энергии, экологические проблемы их применения также рассматриваются в этой брошюре.

В настоящей брошюре лишь попутно затрагиваются экологические проблемы, связанные с добычей, обогащением и транспортировкой урановой руды, производством и транспортировкой ядерного топлива. Близкие к затронутым в настоящей брошюре проблемам, будут посвящены другие брошюры этой же серии, в том числе: о проблемах переработки отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов, проблеме чернобыльской катастрофы, влияния малых доз радиации, мирных ядерных взрывов.

Структура настоящей брошюры следующая. После общего описания масштабов радиоактивного загрязнения окружающей среды работающими АЭС (глава 1) последовательно рассматриваются имеющиеся данные о радиационном загрязнении вокруг АЭС (глава 2), экологические проблемы радиоизотопных источников энергии (глава 3), общие экологические проблемы техногенного облучения, и, в частности, данные по специфическому влиянию различных особо опасных радионуклидов, генерируемых атомной промышленностью (глава 4), влияние работающих АЭС на живую природу (глава 5) и влияние АЭС на здоровье населения (глава 6). В последней, седьмой главе сравнивается «экологическая чистота» атомной и тепловой энергетики. Приложение содержит компактную информацию по техногенным источникам экологически опасных радионуклидов.

## ГЛАВА 1. МАСШТАБЫ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС

Загружаемое в реактор урановое топливо обладает только естественной радиоактивностью, хотя и увеличенной по сравнению с другими, нерadioактивными материалами, но не опасной для людей, непосредственно не соприкасающихся с этими материалами.

В процессе работы реактора АЭС суммарная активность делящихся материалов возрастает в миллионы раз. Так, при полной загрузке реактора ВВЭР-440 (а это более 30 т урана) суммарная активность топлива, с обогащением 3 % по урану-235, составляет  $6 \cdot 10^{11}$  Бк (16 Ки). Уже через год эксплуатации радиоактивность продуктов, образовавшихся в процессе деления ядер урана, составит уже  $4 \cdot 10^{19}$  Бк (10 млрд. Ки), т. е. будет примерно в 100 млн. раз больше исходной (Гаврилин и др., 1993). На каждые 1000 МВт «атомного» электричества образуются радионуклиды с активностью около 2000 Ки. И хотя большая часть этой радиоактивности исчезает в первые дни, недели и месяцы в результате естественного распада короткоживущих радионуклидов, ежегодный прирост радиоактивности биосферы Земли за счет работы АЭС составляет десятки миллионов кюри. Заметная часть этих радионуклидов попадает, в конце концов, в биосферу.

### 1.1. Масштабы газо-аэрозольных выбросов АЭС

С точки зрения радиоактивного загрязнения среды работающими в штатном режиме АЭС, первостепенный интерес представляют газо-аэрозольные выбросы, как наименее контролируемые после их возникновения, из которых более 30 попадают в атмосферу. Среди них:

- йод-129 (*период полураспада 16 млн. лет*),
- углерод-14 (*5730 лет*),
- цезий-137 (*30 лет*),
- водород-3, тритий (*12,3 года*),
- криптон-85 (*10,6 лет*),
- кобальт-60 (*5,27 года*),
- сурьма-125 (*2,77 года*),
- цезий-134 (*2,06 года*),
- марганец-54 (*312,5 суток*),
- серебро-110 (*249,9 суток*),
- кобальт-58 (*70,8 суток*),
- сурьма-124 (*60,2 суток*),
- йод-131 (*8,04 суток*),

- ксенон-133 (5,27 суток),
- йод-133 (20,9 часа),
- аргон-41 (1,82 часа),
- криптон-87 (78 минут),
- ксенон-138 (17 минут).

*Период полураспада не означает, что тот или иной радиоизотоп после этого становится радиационно-безопасным. Только через 10 периодов полураспада опасность облучения уменьшается до практически неопасного уровня (более чем в 1000 раз), но и тогда не исчезает полностью. Кроме того, естественный распад радионуклидов не всегда ведет к уменьшению радиологической опасности. Изотоп плутоний-241 (бета-излучатель, период полураспада — 13 лет) через несколько лет превращается в америций-241 — мощный гамма-излучатель с периодом полураспада 458 лет. Опасное свойство некоторых соединений америция — хорошая растворимость в воде. Территории, загрязненные после аварии плутонием, через некоторое время могут стать относительно радиационно-спокойными, поскольку соединения плутония, как тяжелого элемента, опускается в нижние слои почвы. Однако, через несколько лет эти территории могут вторично стать радиационно весьма опасными из-за распространения образующегося америция с грунтовыми или подземными водами.*

Надо заметить, что на АЭС, к сожалению, инструментально учитывается выброс не всех радионуклидов. Так, ни на какой АЭС мира приборами регулярно не учитывается выброс трития и радиоуглерода (хотя они составляют заметную долю в общем объеме радиоактивности, выбрасываемой АЭС в окружающую среду).

Реактор типа ВВЭР образует в год на 1 ГВт (эл.) около 40 000 Ки радиоактивных газо-аerosольных отходов, реакторы типа РБМК, ВВР и GCR — еще больше (Табл. 1).

Хотя большинство радионуклидов, содержащихся в газо-аerosольных выбросах, удерживается фильтрами или быстро распадается, теряя радиоактивность, среди них есть, по крайней мере, 41 «биологически значимых» (Козлов, 1991).

Среднесуточный выброс радиоактивных газов и aerosолей, например, на Курской АЭС в 1981—1990 гг. и на Смоленской АЭС в 1991—1992 гг. достигает очень больших величин — 600-750 Ки-сутки (Егоров, 1994; Кузнецов, 1994). Данные по ежесуточным выбросам радионуклидов с газо-

---

аэрозольными выбросами АЭС России приведены в табл. 2.

Приведенные в табл. 2 среднесуточные данные не вполне отражают реально наблюдаемые уровни выбросов. Так, по среднесуточным данным на Белоярской АЭС якобы не было выбросов долгоживущих нуклидов, а в Ежегоднике Росгидромета (1998, с.108) говорится о значительных выпадениях цезия-137 в 3 км от БАЭС и четырехкратном превышении региональных среднегодовых концентраций этого радионуклида в 30-километровой зоне.

В следующей табл. 3 приведены более подробные данные по выбросу долгоживущих радионуклидов на двух типичных АЭС России – Ново-Воронежской АЭС с реакторами ВВЭР, и Смоленской АЭС с реакторами РБМК.

Таблица 3.  
Газо-аerosольные выбросы долгоживущих радионуклидов на Ново-Воронежской\* АЭС (МБк/год) и Смоленской\*\* АЭС (МБк/мес.) в некоторые годы (Крышнев, 1991)

Нуклид	Ново-Воронежская АЭС			Смоленская АЭС		
	1975	1980	1986	1985	1986	1987
Хром-51	440	330	10670	1800	2100	970
Марганец-54	480	1720	3470	160	180	70
Железо-59	Нет	Нет	380	200	1300	860
Кобальт-58	Нет	630	1150	58	47	14
Кобальт-60	680	3920	4130	130	160	92
Стронций-89	60	26	105	16*	9,6*	12*
Стронций-90	770	260	140			
Цирконий-95	640	250	640	0,6	Нет	Нет
Ниобий-95	1580	290	2440	80	Нет	Нет
Рутений-103	110	130	330	Нет	Нет	Нет
Рутений-106	1680	910	660	Нет	Нет	Нет
Серебро-110	1520	810	110	Нет	Нет	Нет
Йод-131 (аerosольный)	1330	550	630	Нет	Нет	Нет
Йод-131 (газовый)	Нет	43050	12340	Нет	Нет	Нет
Цезий-134	1200	840	650	17	17	8,3
Цезий-137	6300	1750	1270	22	22	16
Селен-141	30	80	110	Нет	Нет	Нет
Селен-144	2040	110	510	Нет	Нет	Нет
Молибден-99	Нет	Нет	Нет	80	Нет	Нет
Цинк-65	Нет	Нет	Нет	29	13	Нет
Сумма ДЖН (ГБк/год)	770	55660	39930	17155***	8765***	12775***

\* в 1975 г. и 1986г. работало по 4 блока, в 1980г.- работало 5 блоков (все блоки ВВЭР);

\*\* два блока с реакторами РБМК-1000.

\*\*\*МБк/год

Часто в материалах, распространяемых для информации населения о величине радиоактивных выбросов АЭС, фигурируют не абсолютные величины выбросов, а относительные величины – проценты от так называемого «разрешенного» выброса. Обычно оказывается, что выбросы всех АЭС составляют лишь доли процента и уж никак не более нескольких процентов от «разрешенной» величины выброса. Это делается не случайно, а чтобы успокоить граждан, многие из которых могли бы задать неудобные вопросы по поводу сотен и тысяч кюри выбрасываемых каждой АЭС. И наоборот, когда атомщикам не хочется привлекать внимание к превышению нормативного выброса, они предпочитают приводить мало что гово-



рящие рядовому гражданину абсолютные величины.

Именно так было, например, при превышении выбросов по йоду в десятки раз в Димитровграде в 1997 г. В официальных сводках руководство НИИ атомных реакторов Минатома РФ (НИИАР, Димитровград), в котором работает семь атомных реакторов, сообщало в августе 1997 г.: «По состоянию на 28-29 июля значения выбросов по инертным газам не превышают разрешенных, по йоду-131 суточный выброс составляет 60-70 милликюри» (Пискунов, 1997а) и через две недели: «...выбросы йода-131 с остановленного реактора МИР значительно снижены и составляют 10-11 милликюри в сутки...» (Пискунов, 1997б). Вроде бы все благополучно, если не знать, что суточная норма выбросов по всем реакторам составляет 3,3 милликюри/сут. То есть за внешне безобидными формулировками скрывалось превышение суточной нормы выброса радиойода в десятки раз!

Нельзя не сказать и о сомнительной достоверности данных по выбросам, представляемых самими АЭС. Известный атомщик-практик Е.Я. Симонов в присланных мне воспоминаниях (Симонов, in litt, 1998) сообщает, что, во всяком случае на некоторых российских АЭС была распространена практика подмены и уничтожения лент самописцев с «неприлично» большими показателями выбросов радионуклидов. Известно, что (весьма несовершенные сами по себе) датчики для автоматического контроля радиоактивных выбросов в вентиляционной трубе многих российских АЭС расположены не в центре турбулентного потока газо-аэрозолей, а – для удобства обслуживания! – вблизи внутренней поверхности стенки трубы. В результате таких замеров данные, представляемые АЭС по выбросам неизбежно существенно занижаются.

Добавлю, что ни бета-излучатели ( тритий, радиоуглерод и радиойод) , ни альфа-излучатели (плутоний ) инструментально, на постоянной основе, непрерывно , не учитываются в выбросах АЭС, и данные по величине их выбросов получают расчетным путем. Кстати, бета-излучение, как и альфа-излучение, практически не улавливается бытовыми дозиметрами (их показания относятся только к гамма- излучателям), и поэтому, даже если показания обычного дозиметра (со счетчиком Гейгера внутри) не тревожные, это вовсе не означает, что вы находитесь в радиационно безопасной зоне.

Официальные данные среднегодовых величин газо-аэрозольных выбросов радионуклидов АЭС России приведены в табл. 4.

Общая величина официально установленных (скорее всего - примененных) радиоактивных газо-аэрозольных выбросов российских АЭС составляет около 300 тыс. Ки в год.

Таблица 4

**Величина ежегодных выбросов радионуклидов в составе газо-аэрозолей российских АЭС (ИРГ – тыс. Ки, остальные – Ки) АЭС России в 1992-1994 гг.**

*(Меньщиков, 1995; Куценко, 1993; Государственный доклад..., 1995)*

Годы	ИРГ	ДЖН	Йод-131	Тритий	Радон-222
1992	324.0	2.30	3.36	10.4	9.8
1993	290.3	3.32	4.36	?	?
1994	175.5	2.03	1.93	?	?

Кроме обычных газо-аэрозольных выбросов, время от времени любая АЭС неизбежно выбрасывает в атмосферу радионуклиды — продукты коррозии реактора и первого контура, а также осколков деления ядер урана. Среди них наиболее значимы:

- хром-51 (*период полураспада 27,8 суток*);
- магний-54 (*280 суток*);
- кобальт-60 (*5,26 лет*);
- ниобий-95 (*35,1 суток*);
- рутений-106 (*368 суток*);
- церий-144 (*284 суток*).

Необходимо отметить, что за приведенными выше средними цифрами выбросов (суточных, месячных, годовых) скрываются многократные превышения приводимых средних величин. Так, например, содержание цезия-137 в приземном воздухе в районе Смоленской АЭС колеблется в течение года в 6 раз! (Краснов, 1991).

Суммарная величина лицензионных (разрешенных и запланированных) выбросов от всех существующих АЭС в мире на протяжении всего срока их эксплуатации превышает общую величину Чернобыльского выброса (Gofman, 1990). По подсчетам того же автора, 100 АЭС мира на протяжении 25 лет легально выбрасывают в четыре раза больше радионуклида цезия-137 (одного из наиболее опасных), чем его было выброшено в чернобыльской катастрофе.

## 1.2. Масштабы образования жидких отходов

Объем жидких радиоактивных отходов (ЖРО) зависит от типа реактора. На реакторе типа РБМК в год образуется до 100 тыс. м<sup>3</sup> ЖРО, на реакторной установке типа ВВЭР – от 40 до 135 тыс. м<sup>3</sup> ЖРО (Булатов, 1999). Большая их часть просто сливается в открытые водоемы, остальные хранятся в специальных емкостях на АЭС в ожидании кондиционирования и какого-то организованного захоронения.

Возникшие в ходе атомных превращений в реакторе радиоактивные

газы через микротрещины оболочки ТВЭЛов попадают в теплоноситель первого контура и растворяются в нем. Кроме того, по статистике один из 5000—20000 ТВЭЛов обязательно имеет какие-то серьезные повреждения оболочки, облегчающие выход радионуклидов в теплоноситель. Эксплуатационным регламентом российских АЭС долгое время допускалось наличие до 1% ТВЭЛов с поврежденной защитной оболочкой. Сейчас регламент устроен в сотни раз (допускается повреждение одного ТВЭЛа из 100000) . Если учесть, что в активной зоне мощного атомного реактора находятся десятки тысяч ТВЭЛов (в ВВЭР-1000 - 48 тыс., в БН-600 — 47 тыс., во французском «Суперфениксе» — 99 тыс.; Субботин, 1994), то становится ясно, что практически в любом реакторе, на любой АЭС, в любой данный момент может находиться некоторое число ТВЭЛов с поврежденной оболочкой.

Кроме того, в результате неизбежных процессов коррозии металла, в теплоноситель попадают и активированные продукты коррозии (см. выше). В результате, в первом контуре любой атомной реакторной установки обязательно и неизбежно присутствует целый букет радионуклидов. О величине этих выбросов дают представление данные по жидким сбросам радионуклидов на Смоленской АЭС (табл. 5)

Таблица 5

Содержание некоторых радионуклидов (МБк/год) в жидких сбросах Смоленской АЭС в 1985г и 1989 г. (Крышев, 1991)

Радионуклид	1985 г.	1989 г.
Хром-61	290	Нер
Церий-95	280	Нер
Марганец-54	190	570
Кобальт-60	190	19
Стронций (89+90)	120	Нер
Цезий-137	120	6,0
Железо-59	95	0,2
Йод-131	69	1,0
Цезий-134	66	0,9
Медь-64	61	Нер
Ниобий-95	50	0,2

В среднем же, по расчетам, на реакторе типа ВВЭР/PWR на гигаватт выработанного электричества в год образуется (Бк):

- Трития-  $1,5 \cdot 10^{13}$ ;
- Цезия-137 -  $3,4 \cdot 10^{10}$ ;
- Бария-140-  $3,4 \cdot 10^{10}$ ;
- Кобальта-58 -  $2,7 \cdot 10^{10}$ ;

- Кобальта-60 –  $2,2 \cdot 10^{10}$ ;
- Цезия-134 –  $2,2 \cdot 10^{10}$ ;
- Лантана-140 –  $6,3 \cdot 10^9$ ;
- Йода-131 –  $5,2 \cdot 10^9$ ;
- Хрома-51 –  $3,7 \cdot 10^9$ ;
- Марганца- 54 –  $2,5 \cdot 10^9$ ,

а также 22 других радионуклида в меньших количествах (Крышев, 1991; По Кесслеру, 1986).

Все эти радионуклиды (или их дочерние продукты распада, которые тоже могут быть радиоактивными) в конце концов, оказываются в грунтовых или поверхностных водах у АЭС. В результате, например, содержание токсичных радионуклидов стронция-90 и цезия-137 в водоемах около АЭС достигает  $15-20$  Бк/м<sup>3</sup> и  $20-30$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно (Медведев, 1999).

### 1.3. Масштабы образования твердых отходов

Даже самые совершенные АЭС использует всего около 1% исходного сырья – ядерного топлива, и уже поэтому атомная энергетика – самая экологически грязное производство из всех которые когда-либо изобретало человечество. Огромен и масштаб образования твердых отходов. Главным из них является отработавшее ядерное топливо (ОЯТ). В США, Швеции, Испании и ряде других стран ОЯТ считается твердыми радиоактивными отходами (ТРО) и направляется на вечное хранение. В других странах (Россия, Япония, Франция, Великобритания, Германия, Швейцария, Бельгия и др.) оно частично перерабатывается, с целью регенерации урана и плутония, которые можно использовать для получения нового ядерного топлива. Если бы все существующие заводы по переработке ОЯТ (в Великобритании, Франции и России) действовали на полную мощность, они не могли бы переработать более 40% образующегося ежегодно ОЯТ. Поэтому ОЯТ накапливается в мире гораздо быстрее, чем перерабатывается: в 2000 г. его было во всем мире накоплено около 200 тыс. т., к 2010 г. его будет около 300 тыс. т. (Иванов, Петров, 1999).

В ОЯТ содержится большая часть радиоактивных материалов, возникающих в атомных реакторах. Переработка ОЯТ – самый экологически грязный этап всего ядерно-топливного цикла. Проблеме ОЯТ, его переработке посвящена специальная брошюра в настоящей серии (Яблоков, 2000..).

В ходе эксплуатации АЭС, кроме твердых РАО в виде ОЯТ, на ней образуется довольно большие по объему количества разных радиоактивно загрязненных предметов и веществ: рабочая одежда, инструменты, мате-

риалы и т.п. – твердые радиоактивные отходы (ТРО). Они собираются и хранятся на специальных складах, а впоследствии компактируются и направляются на постоянное хранение в специальные могильники.

Однако главную опасность представляют не эти слабо и средне активные ТРО, а колоссальное количество (многие тысячи тонн) конструкционного металла реактора, труб первого контура, стенок бассейнов выдержки и других материалов после завершения срока службы реакторной атомной установки. Несколько десятков лет выведенный из строя атомный блок стоит, чтобы снизился уровень радиоактивности за счет естественного распада. Но затем приходится его разбирать, и куда-то изолировать тысячи тонн высоко-, средне- и малоактивных ТРО.

Теоретически возможно было бы подождать несколько сотен лет, и тогда почти все радионуклиды реакторной установки естественным образом снизят свою активность до приемлемых пределов. Может быть, так и будет, и эти многоэтажные махины мертвых атомных реакторов с постепенно остывающим атомным сердцем на протяжении сотен лет будут стоять страшными памятниками нашей безумной цивилизации. Ведь для их разборки «до зеленой лужайки» необходимо затратить суммы, сравнимые со стоимостью строительства, и никто особенно не спешит это сделать ни в России, ни в других странах (подробнее об экономических проблемах снятия АЭС с эксплуатации см. Яблоков, 1997).

Однако даже через сотни лет никуда не исчезнут некоторые долгоживущие («вечные» - см. гл.4) и высокоактивные радионуклиды, возникшие в отработавшем ядерном топливе. Сейчас большая часть ОЯТ хранится в пристанционных или других временных хранилищах.

*«Высокоактивные отходы, как известно, остаются чрезвычайно опасными (особенно изотопы Аг, Ст, и Тс, масса которых менее 1% всех РАО реакторов АЭС) в течение десятков и сотен миллионов лет. Распыление (распространение) этих элементов в биосфере нанесет непоправимый вред всему живому на Земле.*

*«...если для НАО (низкоактивных отходов – А.Я.) и САО (среднеактивных отходов - А.Я.) проблема безопасного захоронения РАО практически решена, то с ВАО (высокоактивными отходами- А.Я.) дело обстоит много сложнее...»*

*Из сводки сотрудников Первого Центрального НИИ Министерства обороны России (Санкт-Петербург) доктора технических наук В.И. Иванова и кандидата технических наук С.А. Петрова «Проблема обращения с высокоактивными отходами корабельной ядерной энергетики в зарубежных государствах.» (Обзорная информация. ВИНТИ, 1999, Вып. № 2, сс. 57 – 58)*

Проблема захоронения этих ТРО не имеет пока удовлетворительного решения и составляет одну из трех главных «головных болей» мировой атомной индустрии:

- перекладывать решение этой проблемы на следующие поколения неприемлемо с морально-этической точки зрения,
- вкладывать сотни миллиардов долларов в ее решение сегодня неприемлемо по экономическим соображениям;
- оставлять эту проблему без какого либо решения – неприемлемо по экологическим и политическим соображениям.

\*\*\*

Выше были приведены некоторые данные, характеризующие масштаб образования и выбросов радионуклидов от предприятий атомной энергетики, действующих в штатном режиме, без аварий и катастроф. Оценивая эти выбросы, атомщики постоянно подчеркивают, что они составляют ничтожную часть от общей радиоактивности биосферы, или что они оказываются меньше, чем радиоактивные выбросы от угольных электростанций. Эти аргументы лишь на первый взгляд убедительны (см. далее главы 5 и 6). На самом же деле АЭС мира ежегодно вместе с электричеством производят средне- и долгоживущих радионуклидов общей активностью сотни миллионов кюри. И значительная часть этих радионуклидов попадает (или, в конце концов, попадет) в окружающую среду, неуклонно увеличивая общую радиоактивность биосферы и нарушая эволюционно сложившийся радиационный баланс Земли.

Подчеркну еще раз, что за внешне объективными официальными терминами *«среднесуточный»*, *«среднемесячный»*, *«среднегодовой выброс»* могут скрываться крайне опасные для живой природы и человека многократные разовые превышения концентраций радионуклидов в выбросах АЭС. Именно кратковременное повышение концентраций короткоживущих изотопов йода (йода-133 с периодом полураспада в 20,9 час и йода-131 с периодом полураспада 8 сут.) стали причиной тысяч заболеваний раком щитовидной железы после взрыва на Чернобыльской АЭС. Трудно избавиться от ощущения, что *«средние»* величины выбросов широко используются в немалой степени для того, чтобы замаскировать опасное влияние предприятий ядерной индустрии. Поэтому для понимания истинных масштабов опасности, исходящей от АЭС, важны не столько эти *«средние»* выбросы, сколько реально наблюдаемое радиоактивное загрязнение вокруг АЭС.

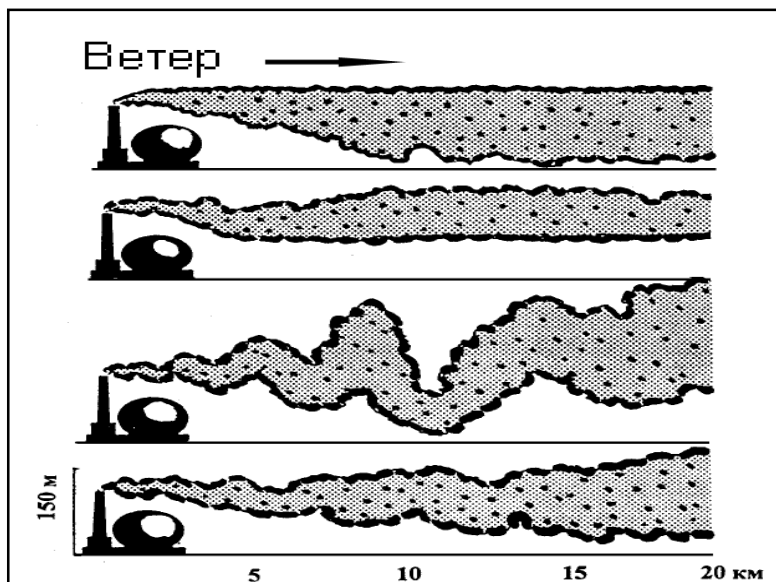
## ГЛАВА 2. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОКРУГ АЭС

Кратко описанные выше количества радионуклидов, образующихся и выбрасываемых в окружающую среду нормально работающими АЭС определяют неизбежное и постоянное радиоактивное загрязнение окружающих ближних и дальних территорий. Это учитывается и нормами радиационной безопасности, устанавливающими санитарно - защитную (опасную) зону вокруг каждой АЭС. Вокруг АЭС, построенных по проектам 60-х - 70-х гг., эта зона составляет до 30 км, для менее опасных реакторов западной постройки – несколько километров. Но радиационное влияние АЭС распространяется далеко за пределы санитарно-защитных зон.

Радиационное загрязнение вокруг каждой АЭС оказывается сугубо специфическим, поскольку зависит, в том числе, от:

- типа реактора;
- состояния активной зоны реактора и оборудования (в том числе – фильтров);
- условий эксплуатации и системы обращения с образующимися радиоактивными газо-аэрозольными, жидкими и твердыми отходами;
- времени года и суток;
- розы ветров (по направлению преобладающих ветров радионуклиды будут распространяться намного дальше);
- движения грунтовых и подземных вод.

На рис. 1 показаны некоторые варианты распространения радионуклидов в составе газо-аэрозольных выбросов из трубы АЭС при разных погодных условиях и на разной местности.



**Рис. 1. Варианты распространения газо-аэрозолей из трубы АЭС**  
(по Mounfield, 1991 с изменениями).

В специальной литературе есть немало данных, показывающих, как с удалением от АЭС падает концентрация различных радионуклидов и в атмосфере, и в почвах, и в водоемах. Далее на конкретных примерах рассмотрим распространение некоторых радионуклидов вокруг АЭС.

### **2.1. Распространение цезия, стронция и других нуклидов вокруг АЭС**

Если бы были проведены детальные исследования, можно с большой уверенностью предположить, что значимые радиоактивные загрязнения были бы обнаружены вокруг всех предприятий атомной энергетики. Любое мало-мальски объективное исследование это немедленно подтверждает: по накоплению радионуклидов в почвах, растениях, грибах можно обнаружить снижение радиационного загрязнения по мере удаления от АЭС. В табл. 6 приведены соответствующие данные для окрестностей Ленинградской АЭС.



Таблица 6

Изменение концентрации радионуклидов цезия в грибах-подберезовиках (в Бк на кг сухой массы) в окрестностях Ленинградской АЭС (Блинова, Недбаевская, 1995)

Радионуклид	Расстояние от АЭС	
	9 км	22 км
Цезий-134	49,0 ± 1,5	15,4 ± 0,8
Цезий-137	954,0 ± 7,0*	337,6 ± 3,6

\* По существующим нормам, при концентрации цезия-134 и цезия-137 1250 Бк/л употребление продуктов следует ограничивать.

На рис. 2 приведены данные по концентрации цезия-137 в окрестностях Ленинградской АЭС, на рис. 3 – аналогичные данные для окрестностей Ново-Воронежской АЭС .

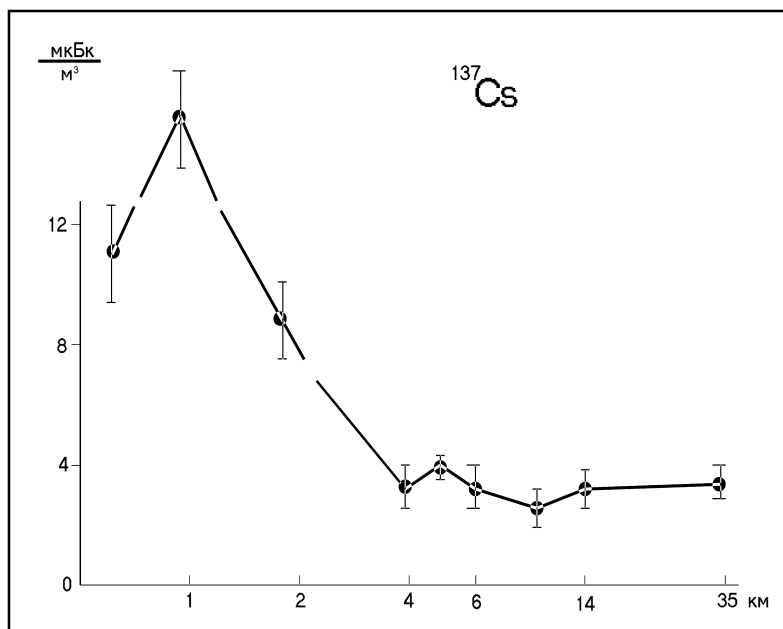


Рис. 2. Уменьшение концентрации цезия-137 в аэрозолях приземного воздуха по мере удаления от Ленинградской АЭС (Блинова, 1991).

В табл. 7 приведены данные по содержанию цезия-137 в почвах вокруг некоторых российских АЭС.

Таблица 7  
Содержание цезия-137 (кБк/м<sup>2</sup>) в почвах вокруг некоторых АЭС  
(Силаитьев, 1990, табл. 2. 16)

АЭС, год	Около АЭС	Далее 30 км от АЭС	p*
Курская, 1978	2.80 ± 0.01	2.70±0.03	0.001
Ново-Воронежская:			
1976	3.40 ±0.02	2.82±0.03	0.001
1980	3.20± 0.02	2.61±0.02	0.001
Смоленская:			
1981	2.80 ±0.01	2.61±0.02	0.001
1983	3.10 ±0.02	2.61±0.02	0.001
Калининская, 1981	2.70 ±0.01	2.61±0.02	0.001

\* В вариационной статистике «р» (от первой буквы английского слова "Probability" - «вероятность») - показатель достоверности различий между сравниваемыми парами значений. При  $p=0,001$  вероятность того, что различия между сравниваемыми значениями чисто случайны, составляет 0,1 % и соответственно, вероятность, что эти различия не случайны - 99,9 %. При  $p=0,01$  99 % за то, что различия не случайны, при  $p=0,05$  вероятность не случайности различий составляет 95 %. Принято, что начиная с  $p=0,05$  сравниваемые значения различаются с высокой степенью достоверности.

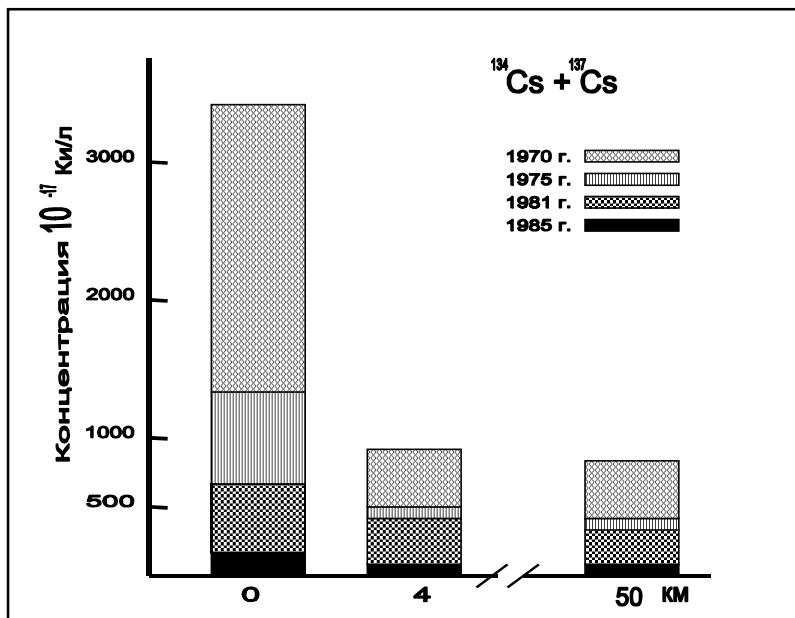
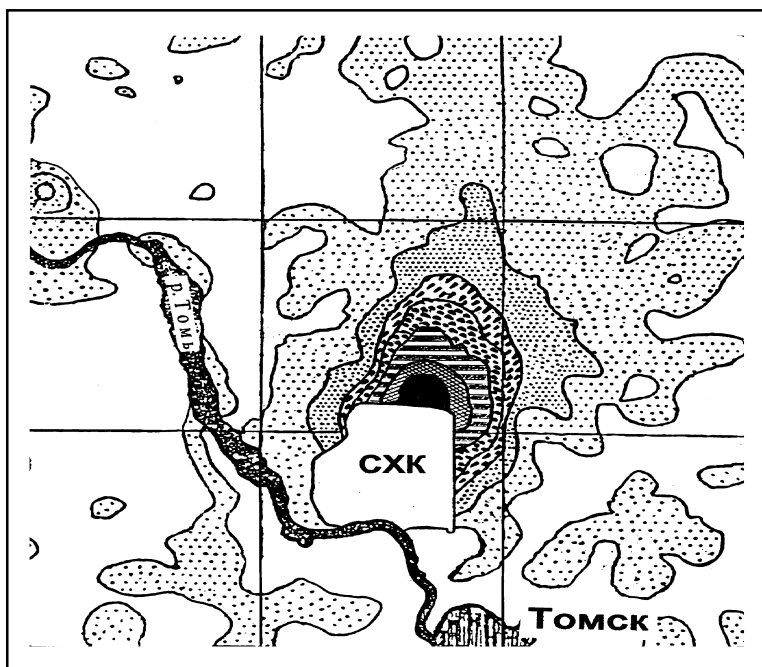


Рис. 3. Уменьшение концентрации цезия-134 и цезия-137 в аэрозолях приземного воздуха по мере удаления от Ново-Воронежской АЭС в разные годы (Зверева, 1991, табл. 3.1 – 3.3.).

Кроме цезия-137 в почвах вокруг Ново-Воронежской АЭС были обнаружены достоверно значимые величины концентраций кобальта-60 (Силантьев, 1990). Активность стронция-90 и цезия-137 в почвах вблизи некоторых АЭС составляет (Медведев, 1999), соответственно, 6-8 Бк/кг и 150-200 Бк/кг сухой массы (для сравнения: опасной для детей считается концентрации стронция-90 в питьевой воде и молоке 75 Бк/л и выше, цезия-137 – 400 Бк/л).

Еще одним примером служит ситуация вокруг атомного центра в Северске (Томске-7), к которому после аварии в апреле 1993 г. было привлечено повышенное внимание ряда исследовательских организаций. Немедленно обнаружилось значительное многолетнее загрязнение территории на десятки километров вокруг (рис. 4).



**Рис. 4.** Плотность загрязнения цезием-137 территорий вокруг Сибирского химического комбината, осень 1993 г. (по: Яблоков и др., 1995).

Семь градаций загрязнения (в мКи/км<sup>2</sup>): 60 - 99; 100 -149; 150 - 199; 200 - 299; 300 - 499; 500 - 999; 1000 и более.

В табл. 8 и табл. 9 - данные по уровням выпадения радионуклидов реакторного происхождения с удалением от Билибинской и Курской АЭС.

Таблица 8  
Уменьшение концентрации радионуклидов по мере удаления от Билибинской АЭС (Ежегодник, 1994, 1995)

Радионуклид	Расстояние от АЭС, км		
	0,3 — до 0,5	от 0,5 — до 3	От 3 — до 5
Кобальт-60, 1992 г., мБк·м <sup>2</sup> /сут	до 3362	до 780	до 222
Марганец-54, 1992 г., мБк·м <sup>2</sup> /сут	до 935	до 145	до 29
Стронций-90, 1994 г. - удельная активность почвы, Бк/кг.	13,6	12,2	7,6

Таблица 9  
Среднегодовая концентрация (Ки/м<sup>3</sup>) некоторых радионуклидов в приземном воздухе на разном расстоянии от Курской АЭС в 1996 г. (Ежегодник..., 1996, табл. 4.4.5)

Радионуклид	Расстояние от вентиляционных труб АЭС, км				
	0,5	2,5	5,0	12,0	40,0
Криптон-51	5,8	0,42	Н*	Н	Н
Цезий-134	0,08	0,03	Н	0,008	Н
Цезий-137	0,80	0,25	0,28	0,28	0,17
Ниобий-95	0,60	0,01	Н	Н	Н
Марганец-54	0,96	0,14	Н	0,02	Н
Кобальт-60	2,06	0,28	0,06	0,08	0,002
Стронций-90	0,02	0,03	0,007	0,001	0,016

\* «Н» - ниже возможностей обнаружения

Во всех случаях наблюдается заметное снижение концентраций радионуклидов по мере удаления от АЭС.

### Некоторые из сообщений о радиоактивном загрязнении территорий вокруг российских АЭС.

«...максимальные выпадения цезия-137 наблюдались в среднем за год в Малиновке и Заречном (около 3 км от Белоярской АЭС). В среднем по 30-км зоне среднегодовые выпадения были в 4 раза выше, чем средние по Уральскому региону, что говорит о влиянии выбросов БАЭС...» (с.108)

...В марте и июне 1993 г. и в декабре 1995 г. в Курске, в ноябре и декабре 1995 г. и феврале 1996 г. в г. Курчатове концентрация суммарной бета активности увеличивалась на порядок. Помимо цезия-137 в аэрозолях регулярно наблюдались продукты нейтронной активации: цезия-134, кобальта-60, железа-59, циркония-95, ниобия-95. Радиойод в суточных пробах наблюдался в г. Курчатове 14 раз, в Курске- 11 раз ...» (с. 112).

...В Санкт-Петербурге техногенные бета радионуклиды из Соснового Бора наблюдались в июле 1996 г...» (с.130).

(из Ежегодника Росгидромета «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1996 г.», Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1998, 300 с.)

В Волге в районе Балаковской АЭС концентрация стронция-90 и цезия-137 составляет соответственно  $1,4 \cdot 10^{-13}$  Ки/л и  $(2-5) \cdot 10^{-13}$  Ки/л (Медведев, 1999). В реках Большой Кепервеем и Поннеурген в зоне загрязнения Билибинской АЭС концентрации кобальта-60 и стронция-90 в воде составляют  $30 \cdot 10^{-13}$  Ки/л и около  $1 \cdot 10^{-13}$  Ки/л соответственно (Ежегодник, 1998)

Серьезное радиоактивное загрязнение существует вокруг Белоярской АЭС. В результате скрывавшихся в прошлом повышенных сбросов жидких РАО в донных отложениях протекающей рядом с АЭС речке Ольховке концентрация радиоактивных веществ оказалась на два порядка (!) выше, чем в почвах региона (Казанцев и др., 1993, Пискунов, 1997). Однако уже не прошлые, а современные выбросы радионуклидов с БАЭС определяют 5-10-кратные (а порой и 16-кратные, как, например, в августе 1992 г. в поселке атомных энергетиков Заречный) превышения средних значений бета активности дождей и снега. *«Удовлетворительных объяснений этому найдено не было»* - таково стандартное заключение по таким случаям (Казанцев и др., 1993. с.10). Конечно, мы не знаем с точностью до минут и часов, когда эти радионуклиды вылетели из трубы АЭС, но нельзя больше отрицать сам факт серьезного радиационного загрязнения БАЭС окружающей местности. Показательно, что в последние годы темп прироста концентрации трития в Белоярском водохранилище составляет два процента в год (Пискунов, 1997). Официальным признанием опасного нарастания радиоактивного загрязнения вокруг БАЭС стало расширение ее санитарно - защитной зоны с 8 до 30 км, проведенное в 1993 г. (Кузнецов, 2000).

Выбросы от Белоярской АЭС постоянно покрывают крупнейший уральский промышленный центр - Екатеринбург. Здесь в 1981-1986 гг. неоднократно обнаруживалось 20-кратное превышения уровня техногенного трития в дождевых и снеговых осадках; тритий в концентрации до 14,4 Бк/л обнаружен в одном из подземных водозаборов Екатеринбурга. Короткоживущие продукты ядерного деления, выпавшие с атмосферными осадками в Екатеринбурге 22 июля 1996г., повысили гамма-фон в 2,5 раза, а концентрация цезия-137 за июль в этом году увеличивалась здесь почти в сто раз (Уткин, 1997).

Уверен, что исследование илов не только реки Ольховки, но и Белоярского водохранилища, как и анализ почвы вокруг БАЭС, принесут много неприятных экологических данных.

*«В пробе атмосферного воздуха, отобранной 27-28.07.96 в Санкт-Петербурге, были зафиксированы концентрации йода-131 (период полураспада 8.1 дня  $2.5 \cdot 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>, цезия-134 –  $2.7 \cdot 10^{-5}$  Бк/*

*м<sup>3</sup> и цезия-137 –  $4.0 \times 10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup> при северо-западном направлении ветра, что дает основание предположить, что источником их поступления является Ленинградская АЭС или Научно-исследовательский технологический институт, расположенный в г. Сосновый Бор, Ленинградской области.»*

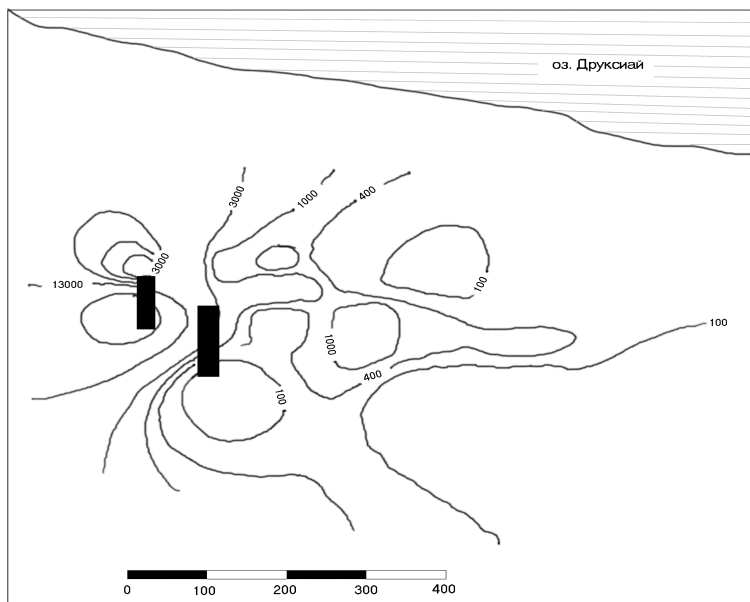
*Из справки Росгидромета «Об аварийном, экстремально высоком и высоком загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории России в июле 1996 г.» от 16 августа 1996, № 140-1452.*

Сравнительно простой метод биоиндикации (например, анализ содержания радионуклидов в хвое), иногда даже точнее, чем стандартные инструментальные наблюдения, показывает масштаб загрязнения территорий вокруг АЭС. Аналогичные данные можно получить и с помощью авторадииографии. Все это становится возможным благодаря явлению *биоаккумуляции* радионуклидов в тканях живых организмов (см. главу 5).

### ***Простейшая радиоавтография***

*На несколько дней или недель (определяется опытным путем) поместить листья, срезы стволов деревьев, перьев, чешуй, костей, зубов и т. п. в темном помещении на обычную фотопленку или фотобумагу. Затем проявить фотоматериал. В местах аккумуляции радионуклидов фотоэмульсия будет засвечена. Для доказательства, что эти эффекты связаны с радионуклидами от предполагаемого источника выброса (например, АЭС) надо сравнивать структуры, находящиеся на разном удалении от предполагаемого источника. Если будет обнаружен градиент значений, – с высокой степенью вероятности можно утверждать о влиянии именно этого источника. Дополнительным доказательством будет служить совпадение характера распределения радионуклидов с розой ветров. Для более точного определения, какой именно радионуклид (или их сочетание) оставляет следы на фотоматериале, необходимо спектроскопическое исследование. Спектроскопы обычно имеются в региональных санитарно-эпидемиологических лабораториях, лабораториях природоохранных служб и в университетах.*

Проблему трития или радиоактивного водорода (водород-3) необходимо отметить особо. Поверхностные и грунтовые воды вокруг всех АЭС загрязнены тритием. Мне пришлось в составе одной из государственных комиссий обследовать Южно-Украинскую АЭС: повышенное содержание трития отмечалось в колодцах, расположенных в десятках километров (!) от станции. Аналогичные факты известны в отношении Калининской и Билибинской АЭС (Конухин, Комлев, 1995). На рис. 5 показано распространение трития из хранилищ радиоактивных отходов Игналинской АЭС. Это загрязнение распространяется от источника со скоростью около 10 м/год.



**Рис. 5. Распространение трития (в условных единицах) в грунтовых водах вокруг двух хранилищ радиоактивных отходов на Игналинской АЭС (Литва) в 1995 г. В 1990-1993гг. концентрации трития в грунтовых водах достигали 60 000 единиц (Mazeika et al., 1996).**

В озерах Удомля и Песьво – водоемах-охладителях Калининской АЭС содержание трития (вызванное сбросами АЭС) превышает региональный фоновый уровень до 50 раз (Носов и др. 1996). С учетом газо-аэрозольных выбросов трития, уже сейчас дозовые нагрузки, вызванные тритием, достигают здесь 1 мбэр/год и продолжают расти. На каждый гигаватт произ-

веденной электроэнергии каждый реактор ВВЭР сбрасывает в поверхностные и грунтовые воды до 5 терабеккерелей трития, а реактор РБМК – до 1 (Козлов, 1991).

Уже давно на примере американских АЭС было показано, что содержание трития в хвое деревьев с подветренной стороны от АЭС в 10 раз больше, чем с наветренной ( поэтому несомненно, что АЭС – источник трития) То же явление, но в отношении цезия-137 показано для хвои сосен вокруг Белоярской АЭС: Полоса радиоактивного загрязнения, вытянутая по направлению господствующих ветров, прослеживается от АЭС до Екатеринбурга, т.е. на 35 км (Пискунов, 1997). Аналогичная картина обнаружена в окрестностях Томска-7 (г. Северск): здесь в коре осины, тополя, травах содержание радиоуглерода падает по мере удаления от работающих реакторов. Количество избыточного радиоуглерода, определявшегося по его содержанию в древесине, прослеживается на расстояниях до 100 км от Томска-7 (Рихванов, 1997).

Данные табл. 10 свидетельствуют о том, что концентрация трития в древесине значительно выше в непосредственной близости от немецкой АЭС «Круммель».

Таблица 10

Содержание трития в древесине в окрестностях АЭС «Круммель» (Schmidt et al., 1997)

Место взятия пробы	Годовые кольца за годы	Концентрация трития $Bq/kg$ (‰)	
Менее 1 км от АЭС	1984 – 1992 гг.	$33,9 \pm 0,3$	848
1,6 км к востоку от АЭС	1984 – 1992 гг.	$5,5 \pm 0,5$	138
Контроль (г. Бремен)	1986 – 1992 гг.	Менее 4,0	100

## 2.2. Уровни облучения вокруг АЭС

Радионуклиды, распространяющиеся вокруг любой, даже работающей без аварий, АЭС, определяют повышенные уровни облучения вокруг каждой из атомных станций и всех других предприятий атомной индустрии с работающими атомными реакторами. Как было показано выше на конкретных примерах, в почвах, наземной растительности, водах, донных отложениях, приземной атмосфере вокруг каждой работающей АЭС существуют градиенты значений по многим радионуклидам. При этом в 10-15-километровой кольцевой зоне (а по розе ветров и много дальше) уровни радиоактивного загрязнения некоторых биологических объектов приближаются к опасным (табл. 11).



Таблица 11

Диапазон мощности дозы облучения различных организмов вокруг российских АЭС в 1973-1985 гг. (Оценка..., 1996, табл. 5.2., по Крышеву, 1993)

Организмы	Доза (сГр/год $\cdot 10^3$ )
Человек	0,1 - 1,0
Деревья (сосна)	0,4 - 2,0
Мелкие млекопитающие (мышь)	0,4 - 1,0
Водоросли	3,0 - 10
Моллюски	1,0 - 40
Рыбы	1,0 - 5,0

Видно, что в непосредственной близости к этой АЭС уровень облучения приближался к предельно допустимому международными и российскими нормами радиационной безопасности (НРБ-99) для населения в 1 мЗв/год. Это заставляет снова и снова возвращаться к проблеме допустимых выбросов: если, как постоянно подчеркивают атомщики, - выбросы от АЭС составляют доли процента от допустимых (то есть являются в сотни раз меньше представляющих опасность для человека) то каким образом оказывается, что уровень облучения около АЭС приближается к пределу безопасности? Из приведенных в табл. 11 данных следует, что опасное влияние газо-аэрозольных радиоактивных выбросов этой АЭС на уровень облучения населения прослеживается вокруг на расстоянии не менее 10 км.

В табл. 12 приведены данные по уровням облучения людей на разном расстоянии от Смоленской АЭС.

Таблица 12

Средние дозы внешнего облучения человека на местности на разном удалении от Смоленской АЭС в 1984—1989 гг. (Краснов, 1990, табл. 2.15)

Расстояние от АЭС, км	Величина дозы, мЗв/год
1—3	0.95 $\pm$ 0,1
3—10	0.82 $\pm$ 0,1
10—20	0.70 $\pm$ 0,09
40	0.70 $\pm$ 0,08

В табл. 13 приведены расчетные значения средней индивидуальной дозы облучения населения в результате газо-аэрозольных выбросов от двух основных типов российских реакторов (РБМК и ВВЭР) на разном расстоянии от АЭС.

В табл. 13 приведены расчетные данные облучения, получаемого на Гигаватт выработанного электричества в год. Реальные дозы будут многократно выше, по крайней мере, по трем причинам.

Таблица 13

**Средняя индивидуальная доза облучения\* от газо-аэрозольных выбросов на разном расстоянии от АЭС, мкЗв/ (ГВт.год) (Козлов, 1991)**

Кольцевая зона, км	Внутреннее облучение	Внешнее облучение	Суммарная доза
<b>От реактора ВВЭР</b>			
До 10 км	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$7,9 \cdot 10^{-2}$
От 10 до 50 км	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
От 50 до 100 км	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
От 100 до 1000 км	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$
<b>От реактора РБМК</b>			
До 10 км	0,15	1,20	1,35
От 10 до 50 км	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^{-2}$	0,10
От 50 до 100 км	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
От 100 до 1000 км	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$

\* При средней скорости ветра 2,8 м/сек; плотности населения вокруг АЭС 50 чел/км<sup>2</sup>, продолжительности пребывания человека в помещении на протяжении года равной 90%.

Во-первых, приведенные в таблице 13 данные надо умножить на число Гигаватт, произведенные конкретной АЭС в течении года. Во-вторых, к этому уровню надо добавить облучение, получаемое за счет радионуклидов, содержащихся в жидких сбросах (в основном – трития). В третьих, для населения, проживающего в непосредственной близости от АЭС надо добавить заранее влияние короткоживущих радионуклидов, могущих при скоростях ветра, больших 2,8 м/сек, распространиться вокруг АЭС.

В табл. 14 и табл. 15, составленной на основе материалов Научного комитета по действию атомной радиации ООН (НКДАР), приведены расчетные данные по мощностям доз, получаемых от выбрасываемых АЭС «инертных» радиоактивных газов. Атомщики неохотно признают значимый вклад этих радионуклидов в радиационное загрязнение, подчеркивая всякий раз, что эти выбрасываемые в огромном количестве радионуклиды быстро исчезают ввиду коротких периодов полураспада (см. далее главу 4, раздел 4.4).

Несмотря на сравнительно небольшие значения концентраций радионуклидов около АЭС, приведенные в табл., эти данные не могут не насторожить. Далее (глава 5) специально рассматриваются процессы биоконцентрации (биоаккумуляции) радионуклидов, превращающие сравнительно безобидные их концентрации в небезопасные для живой природы и человека.

Таблица 14

Мощности доз ( $10^{-12}$  Гр.час на Бк.м<sup>3</sup>) внешнего облучения листьев и хвоя деревьев от «инертных» газов на расстоянии 1 км от «средней» АЭС (UNSCEAR, 1996, Table 4)

Радионуклид	Период полураспада	Тип распада	Мощность дозы
Аргон-41	1,83 час.	Бета	110
		Гамма	580
Криптон-85м	4,48 час.	Бета	36
		Гамма	72
Криптон-85	10,7 лет	Бета	70
Криптон-87	76,3 мин	Бета	540
		Гамма	360
Криптон-88	2,86 час.	Бета	250
		Гамма	950
Ксенон-131м	11,9 дней	Гамма	18
Ксенон-133м	2,2 дня	Гамма	30
Ксенон-133	5,25 дней	Бета	2
		Гамма	21
Ксенон-135м	15,6 мин.	Гамма	190
Ксенон-135	9,1 час.	Бета	54
		Гамма	110
Ксенон-138	14,2 мин	Бета	360
		Гамма	810

Таблица 15

Расчетные дозы нормализованного выброса ( $ТБк (ГВт.год)^{-1}$ ) в атмосферу и концентрации ( $Бк.час^{-3} (ГВт.год)^{-1}$ ) «инертных» радиоактивных газов в кольцевой зоне 1 км от трех типов АЭС (UNSCEAR, 1996, Table 5)

Радионуклид	Реактор PWR (ВВЭР)		Реактор BWR	
	Выброс	Концентрация в 1 км от АЭС	Выброс	Концентрация в 1 км от АЭС
Аргон-41	0,87	72	0,15	12
Криптон-85м	0,24	20	4,0	330
Криптон-85	3,5	290	1,3	110
Криптон-87	0,04	33	4,0	330
Криптон-88	0,16	13	6,5	540
Ксенон-133	82	6830	26	2170
Ксенон-135м	0,062	5,2	3,8	320
Ксенон-135	3,5	290	12	1000
Ксенон-138	0,17	14	13	1080

Отдельной и специфической российской проблемой является загрязнение территорий вокруг АЭС в результате закачки жидких радиоактивных отходов в глубокие геологические горизонты. Такая практика до сих пор существует на территориях, связанных с промышленным производством плутония (на Горно-химическом комбинате в Железногорске и Си-

бирском химическом комбинате в Северске), что прямо не относится к проблемам АЭС. Однако такая закачка происходит и в Дмитровграде, где работают семь атомных реакторов НИИ атомных реакторов Минатома России. Здесь уже закачено более 2 млн. м<sup>3</sup>, и каждый год туда добавляются новые десятки тысяч кубометров ЖРО. В результате радионуклиды уже подошли вплотную к городскому водозабору и, по-видимому, по местным разломам разгружаются в Волгу: в районе их возможного выхода обнаружено значительное повышение концентрации цезия-137 (Пискунов, 1998).

Очень мало данных о радиационной обстановке вокруг транспортных реакторов. Однако косвенные данные говорят о том, что они не менее опасны, чем наземные АЭС. Известно, например, что при неполадках с реактором атомного ледокола «Ленин» в Карском море повышенный уровень радиоактивности фиксировался по всей Скандинавии. Известно также, что за полчаса пребывания на борту атомного ледокола «Ленин» американский адмирал Х. Риквер получил дозу облучения, эквивалентную той, которую получают военные моряки США за полжизни (Cornwell, 2000).

\*\*\*

Достаточно сильное загрязнение радионуклидами от работающей АЭС распространяется вокруг нее на 30—50 км (Ежегодники 1991 — 1996, Крышев, 1991; Крышев и др., 1990, 2000; Гагаринский и др., 1994), инструментально улавливаемое даже существующими несовершенными методами - до 100 км (Медведев, 1999), а теоретически рассчитываемое – до 500 км (Козлов, 1991).

Обобщая все приведенные выше данные, можно сказать, что радиоактивное загрязнение окружающей среды вокруг всех АЭС, в том числе и российских, прослеживается на несколько десятков километров от станции, а по направлению господствующих ветров – и на более чем 100 км. Коллективная эквивалентная доза облучения формируется вокруг каждой АЭС в результате облучения людей, проживающих на расстоянии до 500 км от АЭС (Козлов, 1991). Всего этого достаточно, чтобы усомниться в «экологической чистоте» АЭС.

### **ГЛАВА 3. ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ЗЕМЛЕ И В КОСМОСЕ**

Свойство некоторых долгоживущих изотопов длительное время испускать электроны, позволило создать с их использованием сравнительно мощные автономные источники электрического тока – термоэмиссионные ядерные энергетические установки, радиоизотопные термо-электро генераторы (РИТЭГ). Их применение и на поверхности земли и в космосе связано с возможностью серьезного радиоактивного загрязнения.

#### **3.1. Радиоизотопные термоэлектродгенераторы на земле**

Радиоизотопные термоэлектродгенераторы (РИТЭГи) - энергетические установки, которые используются в России для электропитания автономных электротехнических устройств (средства обеспечения навигации, стационарные геофизические приборы, научная аппаратура и т.д.). По-видимому, всего было создано около 1500 РИТЭГов, разбросанных сегодня по просторам России.

Существуют 4 типа РИТЭГов: ИЭУ-1, ИЭУ-2, БЭТА-М и ЭФИР. Это закрытые источники ионизирующего излучения большой мощности (до  $33 \times 10^3$  Ки). Радионуклид стронций-90 (титанат стронция-90 -  $\text{SrTiO}_3$ ) помещен в герметически закрытой стальной жаропрочной ампуле, окруженной свинцовой защитой. Поскольку период полураспада стронция-90 29 лет, срок службы РИТЭГов на стронциевой основе превышает 20 лет.

В корпусе (цилиндрический стакан из нержавеющей стали с крышкой) размещается тепловой блок и термоэлектрический преобразователь. Тепловой блок расположен в центре корпуса источника питания. Термоэлектрический преобразователь расположен в нижней части корпуса, состоит из полупроводниковых термоэлементов, скоммутированных в четыре отдельных модуля.

Тепловой радиоизотопный блок (ТРИБ) представляет собой герметичную цилиндрическую стальную ампулу, заполненную радиоактивным топливом - титанатом стронция -  $\text{SrTiO}_3$ . Чтобы направить максимально возможную часть тепла к «горячим» спаям термопреобразователя и, одновременно, уменьшить его растечки в других направлениях, тепловой блок окружен тепловой изоляцией газо-экранного типа с заполнением инертным газом - ксеноном и волокнистой тепловой изоляцией, обладающими низкими коэффициентами теплопроводности. Тепловой блок экранирован радиационной защитой из тяжелых металлов - обедненного урана и воль-

фрама, которая совместно с металлоконструкцией корпуса ослабляет энергию ионизирующего излучения, исходящего от радиоизотопного «топлива». Эта радиационная защита снижает мощность дозы до величины не более 10 мР/ч на расстоянии 1 м от поверхности установки.

*«В 1998 году в далеком селе Ванкарем, на Чукотке, умерла двухлетняя девочка от лейкемии... Одно дело бояться, что картошку и лук не завезли на Чукотку, и совсем другое дело бояться, что неизлечимая болезнь может унести тебя или твоего ребенка только потому, что где-то совсем недалеко от поселка забытый - брошенный и никому не нужный валяется какой-то там РИТЭГ. Что это такое, - этот РИТЭГ? Откуда он взялся? И почему его не уберут? И разве только возле села Ванкарем Иультинского района? Да нет же, по всему побережью на Чукотке валяются радиоизотопные термоэлектрические генераторы...*

*...В санэпидстанции с проблемой знакомы очень хорошо: ведь в прошлом году комиссия работала по выявлению «негативных последствий из-за утери контроля за РИТЭГ для жителей округа и экосистемы восточной Арктики»...Результаты комиссии - самые неутешительные. Рекомендовано было вывезти эти установки, обезопасить, и т.д. Но...ни денег нет, ни ответственных не нашлось.*

*Если верить представителям гидрографического предприятия Министерства транспорта Российской Федерации - собственника РИТЭГ, - то «использование РИТЭГ в арктическом регионе Чукотского автономного округа является экономически и социально оправданным, поскольку в настоящее время в Арктике им нет реальной альтернативы. Кроме того, РИТЭГ, фактически являясь мини-хранилищем радиоактивных отходов, решает вопрос временной утилизации этих отходов».*

*Из 8 арктических стран 13 аналогичных устройств, которые используются Военно-воздушными Силами США «для целей навигации», имеются только на Аляске. Причем никто из гражданских лиц не знал об их существовании вплоть до 1992 года, когда в ходе ликвидации лесного пожара вблизи местечка Барнт-Маунтин - северо-восток Аляски - они были случайно обнаружены. Из наших же, родненьких, несчитанных РИТЭГ комиссия выявила, что УЖЕ в аварийном состоянии находятся:*

- *на острове Шалаурова - превышение допустимого предела доз в нижней части корпуса РИТЭГ в 30 раз. Причина - конструктив-*

*ная недоработка данного типа РИТЭГ. Устройство заброшено;*

- *мыс Нутэвги. Прибор имеет сильные внешние повреждения. Установлен в непосредственной близости от термокарстовой депрессии. Обслуживающий персонал скрыл транспортную аварию в марте 1983 года, которая произошла с РИТЭГ. Также установлен без учета влияния опасных природных явлений;*
- *мыс Охотничий - генератор затянут в песок в непосредственной близости от приборной зоны. Причина аварии - халатность персонала. 5 лет РИТЭГ там незаконно хранится;*
- *мыс Сердце-Камень. РИТЭГ установлен в 3 метрах от края обрыва высотой до 100 метров. Через площадку проходит трещина скола - возможно падение РИТЭГ вместе с большой массой скальной породы. Установка РИТЭГ производилась без учета влияния опасных природных явлений (морская абразия). Хранится там незаконно;*
- *остров Нунэанган - внешнее излучение РИТЭГ превышает в 5 раз установленные пределы. Причина - недостаток в конструкции;*
- *мыс Чаплина - превышение допустимой дозы в нижней части корпуса - в 25 раз. Из нижней части корпуса вывернута технологическая пробка... Причина аварии - недостаток конструкции этого типа генератора и сокрытие персоналом радиационной аварии с данным РИТЭГ.*

*Из обследованных 85 РИТЭГ - 74 превысили срок эксплуатации... Практически на всех маяках отсутствуют ограждения РИТЭГ, нет знаков радиационной опасности. Местные жители греют спины у этих генераторов, дети рядышком собирают грибы и ягоды, а вдоль побережья проводятся горные работы с привлечением тяжелой техники.*

*Из заключения комиссии: «состояние безопасности РИТЭГ крайне неудовлетворительно, и представляет реальную опасность для флоры, фауны и акватории арктических морей. Их неправильное размещение может подвергнуть необоснованному облучению часть коренного населения Арктики».*

*Пока гром не грянет - мужик не перекрестится. А грянет - поздно будет».*

*Из письма Варвары Литовка, директора «Кайра-клуба» (Анадырь, Чукотка) в Социально-Экологический Союз (полный текст письма см. Бюлл. по ядерной и радиационной безопасности, 1999, № 6, с. 10-11.)*

Считается, что разгерметизация РИТЭГ с последующим загрязнением

окружающей среды радиоактивными веществами при механических и тепловых воздействиях практически невозможна. Однако как следует из письма, полученного с Чукотки (см. бокс) это возможно. Поэтому, если вы встретите где нибудь на морском побережье или острове кубическое сооружение размером около 1,5 м x 1 м x 1 м, я не советую подходить к нему ближе чем на 10 метров, и уж ни в коем случае не пытаться разобрать его на части - на протяжении ближайших 250 лет это будет смертельно опасно.

Две радиоизотопные энергетические установки были аварийно сброшены в море при транспортировке на вертолете вблизи восточного и северо-западного побережья острова Сахалин 20 августа 1987 года и 8 августа 1997 года. Поскольку РИТЭГи не имеют коррозионной защиты от воздействия морской воды, эти утерянные на морских мелководьях радиоактивные источники представляют серьезную радиационную опасность.

*«В настоящее время на государственном гидрографическом предприятии эксплуатируются 396 радиоизотопных термоэлектрических генератора (РИТЭГ)...Из них 365 выработали установленный срок службы (более 10 лет)... 116 генераторов выведены из эксплуатации, 6 находятся в аварийном состоянии, требуется вывоз для утилизации 50 единиц...» (с.24).*

*Из справки Министерства транспорта России («Информационно-справочные материалы к заседанию Правительства по вопросу «Ядерная и радиационная безопасность России», Москва, 2000, Минатом России, 65 с.)*

Пример с РИТЭГаами ярко демонстрирует безответственность конструкторов ядерно-радиационных устройств. Отвечая на критику «зеленых» атомщики порой говорят: *«нельзя винить спички в пожарах»*. В том, что населения и природы Арктики оказались под угрозой радиационного загрязнения в результате использования РИТЭГов виноваты:

- ученые, которые не продумали возможных последствий своих разработок;
- конструкторы, которые не сделали безопасные для населения и достаточно защищенные (от взлома, от ударов, от коррозии в морской воде и т.д.) конструкции;
- эксплуатирующие организации, скрывавшие аварийные повреждения, устанавливавшие РИТЭГи в опасных местах и забросившие их ;
- местные органы власти, безнадежно махнувшие рукой на эту проблему.

Однако особая ответственность – на энтузиастах-атомщиках. Исходно именно они создали предпосылки опасного радиационного загрязнения Арктики. Именно они, - исходя из принципа ответственности разработчиков, - должны были предвидеть, что общество еще не готово к использованию та-



ких опасных технических сооружений, и не разрабатывать планы таких сооружений. Великий пророк эры атома В.И. Вернадский писал в 1922 г. «Ученые... должны себя чувствовать ответственными за все последствия их открытий...». Этого чувства ответственности явно не достаёт атомщикам.

### 3.2. Ядерные энергетические установки в космосе

При рассмотрении экологических опасностей, связанных с атомной энергетикой, надо упомянуть и атомные источники энергии в космосе, созданные как советскими, так и американскими атомщиками на основе термоэмиссионного принципа. В этих атомных реакторах не идет цепная реакция, но используемые радионуклиды — уран-238, полоний-210, стронций-90 и церий-144 создают серьезную и неожиданную экологическую угрозу для любой территории планеты.

В космическое пространство, и на ближние и на дальние орбиты, было запущено не менее 60 спутников с ядерными энергетическими установками на борту (25 - США, 35 - Россия). Мы знаем, что при освоении космического пространства используются самые совершенные из имеющихся в распоряжении человечества технологий. И, тем не менее, множится число аварий с участием космических аппаратов с атомными установками, и под угрозой таких аварий находится практически любой участок поверхности Земли. По статистике около 2 % ракет носителей терпят аварии при запуске, и около 15 % всех советских и американских запусков спутников с ЯЭУ сопровождались инцидентами. Вот краткий и неполный перечень таких аварий (Емельяненко, Попов, 1992; Ершов 1994; Лепин и др., 1996; Иванов, Петров, 1999):

- **21.04.1964 г.** в результате аварии американского навигационного спутника «Транзит-5- БН-3» около 17 тыс. Ки плутония-238 было выброшено в околоземное пространство, устроив в ней содержание этого радионуклида;
- **03.04.1965 г.** авария с выбросом радионуклидов из атомного реактора американского спутника «Снепшот», разрушенного до перевода на более высокую орбиту;
- **18.05.1968 г.** плутониевые энергоисточники упали у побережья Калифорнии в Тихий океан после аварии американского метеорологического спутника «Нимбас-Б-1»;
- **1969 г.** неудачный запуск советских спутников «Космос-300» и «Космос-305» приводит к радиоактивному загрязнению атмосферы;
- **11.04.1970 г.** плутониевые энергоисточники упали в Тихий океан после аварийного отстреливания лунной посадочной ступени американского космического корабля «Аполло-13»;

- **1973 г.** в результате аварии при запуске советский спутник с ядерным реактором на борту упал в Тихий океан к северу от Японии;
- **январь 1978 г.** советский спутник «Космос-954» сошел с расчетной орбиты и развалился в плотных слоях атмосферы над северо-западной частью Канады. Около 3000 радиоактивных осколков было затем на территории около 80 тыс. км<sup>2</sup>, причем некоторые из них с мощностью излучения до 500 Р/ч;
- **начало 1983 г.** активная зона ядерного реактора советского спутника «Космос-1402» разрушилась при входе в плотные слои атмосферы, загрязнив ее радионуклидами;
- **ноябрь 1996 г.** остатки разрушившейся российской космической станции «Марс-96» с ядерным реактором упали в Тихий океан вблизи от чилийского побережья.

По экспертным оценкам, суммарная активность космических радиоизотопных генераторов на околоземных орбитах ныне составляет свыше 100 тыс. Ки, и по количеству плутония **превышает все выбросы плутония от ядерных взрывов** в атмосфере (Голотюк, 1995). Тот факт, что, несмотря на строгий технологический контроль, в результате космической деятельности происходит масштабное радиоактивное загрязнение, говорит как о безответственности атомщиков, поставляющих свои крайне опасные атомные технологии в не особенно надежные космические технологические системы.

Еще более опасными являются планы использования в космических аппаратах, забрасываемых в Солнечную систему, ядерных энергетических установок ( обзор проблем см. Grossman, 1997). В 1998 г. массовые протесты в США и ядре других стран вызвала посылка космического зонда «Кассини», который по механике разгона должен был пройти на расстоянии 500 км от поверхности Земли. По официальным расчетам, если бы этот космический аппарат вошел в плотные слои атмосферы и разрушился, смертельное загрязнение могло затронуть 5 млрд. человек. Получается, что небольшая группа энтузиастов-ракетчиков и атомщиков безответственно поставила под угрозу существования мировую цивилизацию! Экологически грязными оказываются не только атомные реакторы АЭС, но и (выдающиеся атомщиками за экологически чистые) источники электроэнергии, основанные на термоэмиссии радионуклидов.

## ГЛАВА 4. ТАК ЛИ МАЛО ТЕХНОГЕННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ?

Защитники «экологической чистоты» АЭС утверждают, что радиации, выбрасываемой АЭС, просто недостаточно, чтобы произвести значительные биологические эффекты. При этом они приводят обычно три «убийственных», с их точки зрения, аргумента:

- поскольку доля выбросов АЭС в общем балансе радиоактивного загрязнения биосферы составляет всего доли процента, количество выбрасываемых опасных радионуклидов столь ничтожно, что не может отрицательно повлиять на живую природу и человека;
- большая часть выбрасываемых радионуклидов короткоживущие (они распадаются меньше, чем за сутки) и за это время они не успевают нанести какого либо ущерба живой природе и человеку.
- значительную часть выбросов составляют так называемые «инертные» радиоактивные газы, не оказывающие влияния на живое:

Рассмотрим последовательно все эти аргументы.

### 4.1. Доля АЭС в дополнительном облучении

Дополнительное количество радионуклидов, возникающих на АЭС и поступающих в биосферу, совсем не такое уж и ничтожно, как нам постоянно пытаются внушить атомщики.

В 1972 г. в США дополнительная радиационная нагрузка от АЭС была определена в 0.002 мБэр·чел (0.0002 мЗв). Эта цифра часто сравнивается с 100 мБэр, получаемыми в среднем от естественного радиационного фона, и 70 мБэр — от рентгеновских процедур. Однако при этом не учитывается, что 0.002 мБэр это только (Bertell, 1985):

- гамма-облучение тела (*без бета- и альфа облучения*);
- от нормально работающих АЭС (*без учета аварийных выбросов АЭС*);
- без облучения, связанного с добычей и обогащением урана и всем ядерно-топливным циклом;
- средняя величина (*например, по ветру от АЭС она может быть многократно большей*);
- на 1970 г., когда АЭС в мире было, меньше, чем сейчас.

Ни в одной из многочисленных опубликованных атомщиками с 1985 г. (с тех пор как на эти недостатки расчетов было указано независимыми экспертами) сводке реальная коллективная доза с учетом вышеперечисленных факторов так и не была подсчитана. Может быть, она окажется выше в десять, а может быть, – и в 100 раз по сравнению с официально принятой.

Кроме того, эта коллективная доза постоянно растет (как в результате развития атомной индустрии, так и за счет накопления в биосфере «вечных» техногенных радионуклидов). Эта тенденция роста *годовой коллективной дозы* от АЭС явно выражена (рис. 6., табл. 16).

Таблица 16

Коллективная доза (чел.-Зв-год) для населения СНГ, Латвии, Литвы и Эстонии при планировавшемся в СССР развитии ядерной энергетики (по Бадяеву, 1990)

Источник облучения	1980 г.	1985 г.	2000 г.
Внешнее облучение	0.96	2.5	13.0
Внутреннее облучение	0.75	2.0	9.7
Жидкие сбросы	0.11	0.25	0.56
Суммарная доза	1.8	4.8	23.3

Сделанные на основе этой тенденции расчеты впечатляют: за 20 лет коллективная доза при планировавшемся в СССР темпе развития атомной энергетики должна была увеличиться в 13 раз! Не менее потрясают и расчеты, приведенные в официально одобренном справочнике 1990 г. со ссылкой на материалы НКДАР ООН (табл. 17).

Таблица 17

Прогноз повышения доз облучения в условиях нормальной эксплуатации АЭС при развитии атомной энергетики темпами, планировавшимися в 80-е годы (Василенко, 1990)

Показатели	1980г.	2000 г.	2100 г.	2500 г.
Производство ядерной энергии <i>ГВт.год</i>	80	1000	10 000	10 000
Годовая коллективная эффективная доза, чел.-Зв	500	10 000	200 000	250 000
Годовая доза на душу населения, мЗв	0,1	1,0	20	25
% от среднего облучения за счет естественных источников	0,005	0.05	1,0	1,0
Население, млрд. человек	4	10	10	10

Материалы табл. 17 показывают, что атомщики еще десяток лет назад самым серьезным образом рассматривали, принимали и плани-

ровали (!) увеличение годовой дозы облучения всего населения планеты в **250 раз!** Напомню, что принятые в год публикации этого справочника (Ильин, Филов, 1990) международные нормы радиационной безопасности, введенные в России в 1996 г. (подтвержденные в 1999г. – см. НРБ-99) устанавливали пределы безопасной дозы облучения для населения в 1 мЗв в год.

К сожалению, в представленной Минатомом России в Правительство «Стратегии развития атомной энергетики» (Стратегия..., 2000) об этой опасной тенденции не сказано ни слова. Поэтому, можно утверждать, что Правительство России, было введено в заблуждение Минатомом, когда оно одобрило эту программу в мае 2000 г.



*Рис. 6. Тенденция изменения роли техногенных источников облучения со временем в долях (%) эффективной эквивалентной дозы естественного облучения (по: Козлов, 1991; Орлова, 1994, с изменениями).*

Нельзя не сказать, что дополнительная радиационная нагрузка на население не только России, но и всего Северного полушария от АЭС в XXI столетии увеличится многократно, если будет осуществлена принятая под давлением Минатома Правительством России (Постановление..., 1998; Стратегия..., 2000) концепция так называемого «замкнутого ядерно-топ-

ливного цикла», связанная с расширением переработки ОЯТ (в отличие от США, где принята концепция незамкнутого цикла). Во всем мире только две страны (кроме России) перерабатывают ОЯТ - Франция и Великобритания (Япония старается организовать переработку собственного ОЯТ). К счастью, после мощной компании протеста против экологически опасной работы завода по переработке ОЯТ в Селлафилде (Великобритания), в которую включились не только «зеленые» общественные организации, но и целый ряд европейских государств, переработка ОЯТ в Великобритании, по всей видимости, будет прекращена. Вынуждена пересмотреть свои атомные планы и Япония после третьей по масштабу (после Чернобыльской (1986 г.) и Три-Майл-Айлендской (1979 г.) катастроф) ядерно-радиационной катастрофы в сентябре 1999 г. в Токаймура.

Значительное увеличение техногенной радиационной нагрузки произойдет и в случае «выхода Минатома на мировой рынок обращения с облученным ядерным топливом», как изящно выражаются отечественные атомщики, рассчитывая заработать большие деньги на организации всемирного могильника ядерных отходов на территории России.

*«...Россия имеет значительный научно-технический и природный потенциал, позволяющий обеспечить осуществление таких сложных технологий, как контролируемое долговременное хранение облучённого ЯТ и высокотехнологичная глубокая его переработка, в том числе и зарубежных АЭС...»*

*«...Принцип соответствия законодательной базы России её стратегическим интересам: законы и другие нормативные акты не должны препятствовать выходу национальных предприятий ТЭКа на мировые рынки высокотехнологичных и наукоёмких товаров и услуг, в частности, **необходимо снять законодательные ограничения** (выделено мною – А.Я.) на высокодоходные экспортные услуги по переработке и хранению облучённого ядерного топлива»...*

*Из «Стратегии развития атомной энергетики в России в первой половине XXI в. Основные положения» 2000, М., Министерство Российской Федерации по атомной энергии, 27 с.*

Начиная с 1994 г. Минатом постоянно пытается изменить пункт 3 статьи 50 закона «Об охране окружающей природной среды» (1991г.), прямо запрещающий ввоз в Россию на хранение радиоактивных отходов и материалов из других стран (закон не распространяется на международные соглашения, заключенные до этого момента со странами, где СССР пост-

роил АЭС). В 1999-2000 г. российские атомщики, отошли от использования всем знакомого на протяжении десятилетий термина «отработавшее ядерное топливо», заменив его термином с той же аббревиатурой (ОЯТ) «ОБЛУЧЕННОЕ ядерное топливо», подчеркивая тем самым, что ОЯТ - не конец ядерно-топливного цикла, и его надо еще перерабатывать.

**«Государственная Дума и Минатом собираются превратить Россию во всемирную свалку ядерных отходов»**

*По предложению депутата Госдумы С.П. Шашурина (депутатская группа «Народовластие»), поддержанного руководителями фракций КПРФ (Г.А. Зюгановым), «Наш дом – Россия» (В.А. Рыжковым), ЛДПР (В.В. Жириновским) и депутатских групп «Народовластие» (Н.И. Рыжковым), Аграрной (Н.М. Харитоновым), «Российские регионы» (О.В. Морозовым) председатель Госдумы Г.Н. Селезнев направил на согласование в Правительство проект поправки к статье 50 закона РФ «Об охране окружающей природной среды».*

*Суть вносимой поправки сводится к разрешению ввоза в Россию «в целях переработки, хранения или захоронения» отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов и материалов из других государств «...с учетом экономической выгоды РФ и обеспечения безопасности окружающей среды».*

*По поручению вице-преьера В. Б. Булгака от 27 января 1999 г. этот документ направлен на согласование в министерства и ведомства, и в ближайшие недели может быть принят Думой.*

*Эта поправка, отменяющая запрет на ввоз в Россию на хранение и захоронение отработанного ядерного топлива, радиоактивных отходов и материалов из зарубежных стран, где нами не были построены АЭС, рассчитана на получение крупных средств от стран, стремящихся избавиться от отходов своей ядерной индустрии. Известно, что переговоры об этом велись со Швейцарией, Испанией, Германией, Японией, Южной Кореей и другими странами.*

*В материалах Думы говорится о «счастливым стечении обстоятельств». Под этим имеется ввиду ничто иное, как горячее желание стран с развитой атомной индустрией поскорее избавиться от неизбежных страшных последствий ее деятельности, используя тяжелое экономическое положение России. Швейцария, например, предполагает передать нам не только 2000 тонн своего отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), но и 500 куб. м радиоак-*

*тивных отходов от переработки швейцарского ОЯТ, которые ей необходимо забрать из Франции.*

*Если эта поправка будет принята, в Россию хлынет поток радиоактивных материалов из других стран.*

*В Великобритании и Франции, единственных странах, перерабатывающих зарубежное ОЯТ, непременным условием такой переработки является возвращение образующихся при этом РАО в страну, направившую ОЯТ на переработку ; ввоз зарубежного ОЯТ на хранение и захоронение законодательно запрещен. Содержащееся в обосновывающих поправку материалах Госдумы утверждение Президента РНЦ «Курчатовский институт» об ожидаемом «всплеске конкуренции» в этой области - безосновательно. Сомнительную честь реализации предложений о хранении и захоронении зарубежных радиоактивных материалов у России никто не собирается оспаривать!*

*Необходимо напомнить, что в России нет мощностей для переработки зарубежного ОЯТ. Технологии для этого имеются на Красноярском ГХК, Томском СХК и ПО «МАЯК» в Челябинской области. Однако, для организации приемки и переработки зарубежного ОЯТ потребуются затраты на реконструкцию и строительство объемом во многие миллиарды долларов (только завершение строительства завода РТ-2 на ГХК потребует не менее 5 млрд. долларов). Сюда должна будет уйти большая часть средств, которые можно выручить в результате этих сомнительных сделок. Поэтому и другое утверждение Президента Курчатковского института о том, что изменение статьи 50 позволит « решить множество тяжелых социальных задач» – не обосновано. И уже поэтому нет сомнения в том, что под предлогом переработки зарубежного ОЯТ Минатом на самом деле просто собирается использовать территорию России, как отхожее место для зарубежных радиоактивных материалов.*

*Только циничным можно назвать утверждение, что действующая редакция закона «...наносит ущерб как экономическим, так и экологическим интересам Российской Федерации...». Пока экономическим интересам России наносит ущерб развернутое Минатомом за счет средств федерального бюджета строительство дорогостоящих объектов за рубежом (по бюджету 1999 г. на это предполагается выделить 177 млн. долларов США или более 4 млрд. руб.), а главный ущерб экологическим интересам России наносит*



деятельность предприятий ядерно-топливного цикла, ежедневно увеличивающим радиационную нагрузку на территорию страны и ее граждан. При этом данные по радиационному загрязнению окружающей среды до сих пор противозаконно засекречиваются, а в качестве решения экологических проблем предлагается ... строить новые АЭС!

Факты говорят о том, что во всех трех регионах, где расположены заводы по переработке ОЯТ, сложилась катастрофическая экологическая ситуация. Переработка ОЯТ ведется по технологиям, унаследованным от плутониевых программ времен холодной войны. Эта технология приводит к образованию огромного количества ядерных отходов.

Благодаря деятельности ряда экологических организаций недавно стало известно, что огромная подземная линза радиоактивных отходов на полигоне «Северный» Красноярского Горно-химического комбината, - опровергая все официальные уверения атомщиков в безопасности такого захоронения, - распространяется со скоростью более 300 м в год. До ближайшего притока Енисея осталось всего 2 км. Аналогичное положение с подземными захоронениями РАО сложилось и на других предприятиях Минатома – на ПО «МАЯК» в Челябинской области и на Сибирском химическом комбинате в Томской области (бассейн Оби), а также в Дмитровграде (бассейн Волги). Надо срочно прекращать всякую закачку РАО под землю, разрабатывать и осуществлять очень дорогостоящие мероприятия по остановке распространения таких линз. Это означает невозможность продолжения дальнейшей работы всех существующих предприятий по переработке даже отечественного ОЯТ, не говоря уже о дополнительной нагрузке, связанной с приемкой зарубежных материалов.

Поскольку перерабатывать зарубежное ОЯТ по старым технологиям нельзя с экологической точки зрения (а новых безопасных технологий такой переработки не существует), то и с этих позиций брать зарубежное ОЯТ на переработку означает прямой обман : и по этой причине не должно быть сомнений в том, что под предлогом переработки зарубежного ОЯТ Минатом на самом деле просто собирается использовать территорию России как отхожее место для зарубежных радиоактивных материалов.

Нельзя брать зарубежные материалы и для захоронения на территории России. Неизвестно, удастся ли найти приемлемое

*место для такого захоронения, не ясно и как такое захоронение организовать. На территории США (это больше половины площади России) поиски такого места ведутся более 20 лет, на это потрачено около 5 млрд. долларов и удовлетворительное место не найдено. Аналогичное положение складывается в Великобритании и Франции.*

*Ради выживания атомной индустрии и получения доходов Минатом готов превратить Россию во всемирную ядерную свалку. Это не только ставит Россию в унижительное положение, но и создает прямую угрозу для нашего будущего. Никакие миллиарды долларов не смогут защитить от поражения радиацией нынешнее и будущие поколения россиян. Необходимо остановить это безумие!».*

*Заявление Международного Социально-Экологического Союза от 8 февраля 1999 г.*

Уже в начале 90-х годов средний уровень содержания техногенного цезия-137 в естественных экосистемах превысил его естественный уровень (Кущенко, Кольшкин, 1993). Антропогенного трития и криптона-85 в биосфере сейчас в тысячи раз больше, чем его было до эры атомной энергетики!

Исследования показывают, что уровень облучения, связанный с выбросами радионуклидов из АЭС, уже сейчас может достигать значительных величин. Так, например, уровень внутреннего облучения трех видов рыб (плотвы, окуня, колюшки) обитающих в водоемах, связанных со сбросным каналом Ленинградской АЭС, достигал величины в 25 % от естественного фона, а суммарная активность искусственных радионуклидов в тканях водных растений в том же водоеме достигала 30 % естественной радиоактивности, а у планктона в зоне сброса воды АЭС – до 20 % естественной (Блинова, 1991).

Для живой природы и человека важны не формальные выкладки (усредненные выбросы АЭС составляют, якобы, 0, 02 % от среднего естественного радиационного фона, см. выше), а реальное влияние радиации на организм. Если 20-30 % внутреннего облучения – самого важного для поражения наследственности и развития заболеваний некоторые живые организмы получают от АЭС, то утверждение о «незначительности» выбросов радионуклидов атомной энергетикой, мягко говоря, не вполне справедливо.

Теперь вернемся к рассмотрению аргументов атомщиков, утверждающих, что радиоактивные выбросы не столь велики, чтобы оказать негативное влияние на живое.

## 4.2. Опасные доли процента

Атомщики говорят: поскольку доля выбросов АЭС в общем балансе радиоактивного загрязнения биосферы составляет всего доли процента, эти выбросы не должны быть опасными. Даже если не учитывать приведенные в предыдущем разделе главы факты, говорящие о реально многократно большей (чем говорят атомщики) доле техногенных радионуклидов в биосфере, то и тогда априорные утверждения атомщиков о безопасности дополнительного техногенного облучения наивны и малообоснованны. Они, во-первых, игнорирует фундаментальные положения теории биологической адаптации. Во-вторых, эти утверждения не учитывают современной концепции влияния малых доз (подробнее см. Бурлакова, Яблоков, 2000д.). И, наконец, в-третьих, – они не учитывает влияния синергизма (Петин и др., 1997). Кратко рассмотрим эти три положения.

### 4.2.1. Устранение радиочувствительных особей

Начиная с работ Ч. Дарвина, биологи обращают внимание на тончайшую приспособленность живых существ к конкретным условиям существования. Известны случаи, когда разница в доли градуса в средней температуре самого жаркого (или самого холодного) месяца оказывалась препятствием для распространения вида или популяции. Известно, что температура в полградуса во время развития яиц у одного из видов черепах может изменить соотношение полов в потомстве (вместо 5 % самцов может появиться на свет 80 % самцов). А изменения в солёности, насыщенности кислородом, освещённости в десятые доли процента оказывается лимитирующим фактором для многих видов живых организмов. Много примеров подобного рода можно найти в сводках по экологической физиологии, популяционной и эволюционной биологии (см., например, Шварц, 1980; Шилов, 1977; Яблоков, 1987). Таким образом, априорное утверждение, что десятые доли процента какого либо признака не могут иметь существенного значения для живых существ – принципиально неверно с общебиологической точки зрения.

В свете этих биологических позиций рассмотрим радиобиологический материал. На основании того факта, что уровень естественного радиационного фона в разных регионах Земли бывает значительно выше среднего, атомщики видят дополнительный аргумент положения, что значение атомно-энергетической дополнительной составляющей в общем радиационном балансе не может быть опасным. Действительно, в Бразилии в не-

скольких сотнях километров от города Сан-Пауло есть местность Гуарапари, где естественный уровень радиации достигает 175 мЗв (в 560 раз выше среднего общемирового значения). В Южной Индии (в штате Керала), в Иране, Нигерии, на о-ве Мадагаскар есть территории, где естественный уровень радиации также в десятки и даже сотни раз выше среднего (Карпов, 1994). В России в Забайкалье и ряде других мест есть территории с естественным радиационным фоном, в десятки раз более высоким, чем в среднем по стране. На территории СНГ одной из таких территорий являются южное побережье озера Иссык-Куль. В таких районах жители могут получать годовую дозу 5—15 мЗв.

Однако, нет фактов, позволяющих утверждать лишь на том основании, что «люди там живут», что такие дозы безвредны. А факты, говорящие об опасности таких доз, – есть. Пока было проведено только одно обстоятельное медицинское обследование населения в таких районах – в штате Керала (Индия) в районе распространения монацитовых песков. Здесь, как уже отмечалось, радиационный естественный фон многократно выше среднего мирового, Оказалось, что в популяции (данные по 77 тыс. человек, получавшим по 4 — 5 мЗв/год, что в 2—3 раза выше, чем в Европе) заметно увеличено число хромосомных нарушений, несколько чаще встречается синдром Дауна. В небольшой группе, подвергающейся наибольшему облучению (в 20 раз выше обычного фона), отмечены наибольший уровень детской смертности и понижение репродуктивной способности у мужчин (Sumner et al., 1991; Сечко, 1996). Глубоких медико-статистических (эпидемиологических) исследований на других территориях с повышенным радиационным фоном не проводилось.

В популяциях живых организмов, длительное время обитающих в условиях повышенного радиационного фона, могла возникнуть более или менее значительная адаптация к повышенным дозам в результате отбора на повышенную устойчивость к радиации. То, что такая адаптация должна происходить, говорят два взаимодополняющих факта. Во-первых, наличие **значительной индивидуальной изменчивости по радиочувствительности** в популяциях млекопитающих. И, во-вторых, эффективность отбора на пониженную и повышенную радиочувствительность в эксперименте.

Давно было известно, что есть возрастная и половая изменчивость по радиочувствительности (женщины, в среднем, по-видимому, более радиочувствительны, чем мужчины; дети и пожилые люди более радиочувствительны, чем люди среднего возраста; беременные более радиочувствительны и т.д.). Рядом исследований на млекопитающих было показано (Kovalev, Smirnova, 1996), что в популяции существуют высоко- и низко чувстви-

тельные к радиации группы особей. То же должно быть и в человеческих популяциях: часть людей обладает пониженной радиочувствительностью, а часть - повышенной. 10-20 % людей являются высокочувствительными к действию радиации, а 14-20 % - сравнительно малочувствительными, и при этом 7-10 % являются сверхвысокочувствительными к действию радиации (Ковалев, Смирнова, 1996).

Пока мало известно, но – судя по аналогии с изменчивостью других признаков живых организмов (обзор см. Яблоков, 1966, 1974),- должна существовать годовая, сезонная, суточная изменчивость радиочувствительности.

*«...ядерщики... не могли и не смогут сделать ОЯЭ (объекты ядерной энергетики - А.Я.) экологически безопасными... демонстрируют свою задачу приспособить все человечество, животный и растительный мир к радиационным выбросам с их ОЯЭ, повышению общего радиоактивного фона. Получается странная ситуация: мир вздрогнул от появления «клонированной» овечки, и совершенно спокоен по отношению к тому, что ядерная отрасль в ядерных и всех других странах уже полвека занимается клонированием всего живого, воздействуя на генетику радиоактивными «пинцетом», «скальпелем», «обогащением» биосферы ... не свойственными для нее новыми химическими элементами, устойчиво снижая долю (%) здоровых особей всякой живности в каждой популяции»...*

*Из «Дополнений...» к книге «Атомная мифология...», присланных автору Е.Я. Симоновым (Симонов, in litt, 1998) , государственным инспектором по ядерной безопасности СССР (1981-1991 гг.).*

Эксперименты по отбору на приспособленность к радиации мелких мышевидных грызунов (Крапивко, Ильенко, 1990) показали, что через двадцать-двадцать пять поколений отбора на устойчивость к радиации возникают заметно более устойчивые к действию радиации группы особей.

Несомненно, все человеческие популяции в местах высокой естественной радиоактивности прошли через воронку жесткого естественного отбора, и этот отбор там продолжается (об этом говорят и приведенные выше данные по Керале). Несомненно, средний уровень радиочувствительности в этих немногих местах Земли для обитающих там популяций (не только человека, но и других живых существ) должен быть ниже (больше особей менее чувствительно к действию радиации). Но во всех других местах Земли живые существа приспособлены к многократно меньшему радиационному фону. Повышение этого фона даже на доли процента скажется отрицательно, и в первую очередь на высокочувствительных к действию радиации людях.

В целом, обобщая известные данные по индивидуальной изменчивости

радиочувствительности, можно утверждать, что размах колебаний по этому признаку может быть не меньше порядка величин, то есть радиочувствительность может различаться у разных людей в десятки раз. Радиочувствительность разных популяций внутри вида может различаться в несколько раз.

#### 4.2.2. Влияние малых доз

Поскольку проблема влияния малых доз рассматривается в отдельной брошюре настоящей серии (Бурлакова, Яблоков, 2000д) отмечу лишь, что есть быстро растущее число фактов влияния на здоровье человека очень малых доз - порядка долей мЗв. В этой связи сравним долю радиоактивности от АЭС со значительно большим вкладом в коллективную дозу от медицинских процедур (см. рис. 6).

На том основании, что доля облучения от АЭС многократно ниже дозы, получаемой при обычной рентгенодиагностике, атомщиками делается вывод о безвредности доз, получаемых населением от АЭС. Но рентгенодиагностика является очень опасной процедурой! Признано, что радиационная нагрузка от медицинских процедур подлежит резкому сокращению. Рентгенодиагностика должна назначаться лишь в исключительных случаях. В 1995 г. Европейская Комиссия приняла специальную резолюцию, требующую снижения доз, получаемых в ходе рентгенодиагностики (для этого был введен полный запрет на такие обследования для беременных и кормящих), а Научный комитет по действию атомной радиации (НКДАР) ООН определил нежелательность гражданам проходить более чем одно рентгенологическое обследование в год (Comission...,1995).

*«...даже диагностическое облучение беременных женщин рентгеновскими лучами в дозах 0.001—0.2 Гр может вызвать значительные уродства у детей, если это происходит в течение 38 суток с момента зачатия». Из статьи проф. К.Булановой «Внутриутробное облучение» в «Ядерной энциклопедии» (1996, с.339)*

Сейчас стало ясно (Бурлакова и др. 1999), что парадоксально большое влияние малых доз определяется тем, что в диапазоне малых и сверхмалых доз защитные системы организмы просто не замечают этого влияния; они включаются уже после того, как малые и сверхмалые дозы успевают негативно воздействовать на организм.

Для нашего рассмотрения важно, что дозы порядка долей миллизиверта могут оказывать заметное влияние на живые системы.

### 4.2.3. О влиянии синергизма

Лишь упомяну в связи с обсуждением о возможности сильного влияния очень малых доз проблему синергизма.

Во множестве экспериментов установлено, что даже небольшие дозы облучения могут вызывать непропорционально большой эффект **при воздействии одновременно с каким-то другими факторами** среды, например, пестицидами, электромагнитным или химическим загрязнениями (Бегун и др., 1996, обзор см. Петин, 1998, Combined effects..., 1996).

Хорошо известно, что курящие люди в большей степени страдают от раковых и других заболеваний связанных с действием радиации (Табл. 18)

Таблица 18

Содержание полония-210 (пКи/кг) в печени и крови  
некурящих и курящих людей (Рихванов, 1997, табл. 4.8.)

Орган	Некурящие	Курящие
Печень	31,1	57,7
Кровь	4,4	26,0

Обнаружено многократное усиление воздействия радиации при соетанном действии с химическими соединениями (этиленимин, цитозин, диэтилстилбистрол, кофеин, некоторых гормонов (эстроген) и др.) воздействием температуры (как тепла, так и холода), минеральной пыли, асбеста, шума, и так далее. В табл. 19, представленной проф. В.Г. Петиным (Обнинск), приведены некоторые конкретные примеры такого взаимодействия.

Таблица 19

Синергическое усиление радиационного эффекта на некоторых  
живых системах физическими и химическими агентами

(по данным разных авторов, представленных В.Г. Петиным)

Агенты и параметры	Объект и тест	Значение синергизма (усиление воздействия, раз)
Радиация + гипертермия	Инактивация: бактериофага, стафилококка, дрожжей, культуры клеток млекопитающих	1,7 – 3,7
Радиация + гипертермия	Гибель спор бактерий	2,5
Радиация + ультразвук	Инактивация дрожжей	1,7
Радиация + нитрат свинца	Увеличение частоты мутаций у <i>Arabidopsis</i>	2,5
Радиация + цитозин арабинозид	Хромосомные aberrации лимфоцитов человека	3,0 – 3,6
Радиация + этиленимин	Хромосомные aberrации у <i>Srepis</i> , Мутации у ячменя	2,0 - 2,8

Конечно, даже теоретически трудно представить, что когда-нибудь станет возможно проверить сочетанное действие радиации со всеми, или хотя бы большинством возможных агентов внешней среды. Однако уже имеющихся данных достаточно, чтобы сделать общий вывод, что благодаря явлению синергизма воздействие малых доз радиации может быть усилено по крайней мере в несколько раз, а, возможно, и в несколько десятков раз.

\*\*\*

Все три кратко обозначенные группы явлений (синергизм, влияние малых доз, индивидуальная радиочувствительность) заставляет меня утверждать, что уровни облучения, составляющие доли процента от естественного облучения, могут быть значимы и поэтому добавляемая действием АЭС радиационная нагрузка на биосферу и человечество (см. выше главы 1 и 2) никак не может быть несущественной.

В завершение этого обсуждения важности сверхмалых доз приведу не научные, а бытовые аналогии. Представим себе естественный радиационный фон в виде сосуда, до самых краев наполненного жидкостью. Это может быть и доверху наполненная рюмка, и во сто раз большая по объему кастрюля. Однако и в том и в другом случае всего лишь несколько дополнительных капель вызовут переливание жидкости через край. Это произойдет безотносительно к объему жидкости уже имеющемуся в сосуде, и несмотря на то, что объем дополнительной жидкости может быть ничтожен (сотые доли процента!) в сравнении с объемом жидкости в сосуде.

Вообще, похоже, что только в очень простых системах (типа «гвоздь-молоток») соблюдается пропорциональность влияния. Часто конечный эффект не прямо связан количественно с исходным импульсом. Влияние малого по величине фактора может быть более значимым, чем фактора более мощного. Укус комара или пчелы может оказаться болезненнее, чем тысячекратно более мощный по энергетике удар молотком. Малое влияние может быть сигналом, нажатием на пусковую кнопку механизма, высвобождающего несравнимо большую энергию. Подобные примеры иллюстрируют всеобщность принципа – *результат не всегда прямо пропорционален величине воздействия*. Но если этот принцип справедлив в самых разных областях нашей жизни, почему он не должен быть справедливым для влияния малых доз?

Малые уровни облучения от АЭС могут оказывать большой эффект и потому, что они действуют постоянно, на протяжении длительного времени.

Итак, аргумент о малости, и потому безвредности дополнительного



облучения, производимого АЭС. не может считаться убедительным поскольку и малые по относительной величине факторы могут оказывать мощное влияние.

### **4.3. Об опасностях, связанных с короткоживущими радионуклидами**

Атомщики говорят: поскольку большая часть выбрасываемых радионуклидов короткоживущие ( существуют несколько часов или суток), то за это время они не могут нанести существенного ущерба живой природе и человеку.

Действительно, большая часть радиоактивности газо-аэрозольных выбросов генерируется короткоживущими радионуклидами. Но считать короткоживущие радионуклиды безопасными только по причине их быстрого исчезновения – наивно практически и ошибочно теоретически. Пущенная пуля летит доли секунды, но, попадая в цель, становится смертельной. Продолжительность существования молнии составляет доли секунды, но она причиняет огромные разрушения. Многие техногенные аварии и катастрофы также длятся секунды или доли секунды, но их последствия могут быть страшными.

Но это все аналогии. Есть ли прямые доказательства опасного действия короткоживущих радионуклидов? В доступной мне научной литературе я не встретил описания подобных экспериментов. Похоже, что не столько сложность постановки таких экспериментов, сколько нежелание атомщиков изучать влияние короткоживущих изотопов – главная причина отсутствия таких данных. Но есть один «эксперимент», который невольно поставили атомщики, и который по убедительности и эффективности стоит тысяч других экспериментов - поражение детей радиоактивным йодом в результате Чернобыльской катастрофы. Период полураспада йода-133 – около 21 часа, а йода-131 – 8 суток. Формально, йод-131 не относится к короткоживущим (к которым относятся нуклиды с периодом полураспада не более суток). Но сутки выбраны лишь как условная граница этой группы радионуклидов, и, конечно, воздействие сохраняющегося всего несколько дней йода-131, по сравнению с воздействием живущих десятки и сотни лет (а то и сотни тысячелетий) радионуклидов, конечно же, является краткосрочным.

Последствия этого мимолетного и краткосрочного воздействия йода-133 и йода-131 оказались страшными – нескольких часов и дней хватило на то, чтобы радиоактивный йод попал в ткани щитовидной железы у мно-

гих тысяч детей и вызвал там изменения. Тысячи детей с раком щитовидной железы в Чернобыльской зоне и еще десятки тысяч с предраковым состоянием этого органа – это ли не наглядное свидетельство опасного действия сравнительно короткоживущих радионуклидов?!

Другой пример относится к действию радона-222 - радиоактивного газа. Об опасных последствиях действия радона написаны десятки книг и тысячи статей. Нет сомнения в его опасном воздействии на человеческий организм. А период его полураспада всего 3,82 суток!

Я уверен, что, если бы были проведены исследования влияния других короткоживущих изотопов, по отношению к любому из них были бы обнаружены опасные последствия их влияния на живые организмы. Поэтому не убедителен аргумент атомщиков о безопасности выбрасываемых АЭС быстро распадающихся радионуклидов .

#### 4.4. Об «инертных» радиоактивных газах

Атомщики говорят: большая часть радионуклидов относится к так называемым *«инертным»* радиоактивным газам (ИРГ). Эти газы, утверждают они, потому и называются *«инертными»*, что не участвуют в биологических процессах, и поэтому их влияние не может быть опасным. Этот аргумент крайне сомнительный. Так же, как радиоактивный йод концентрируется в щитовидной железе, вызывая ее поражение, так и ИРГ, в 70-е годы считавшиеся совершенно безвредными для всего живого, накапливаются в некоторых клеточных структурах растений: хлоропластах, митохондриях и клеточных мембранах.

В качестве примера рассмотрим такой «инертный» газ как криптон-85, второй после ксенона из ИРГ выбрасываемых АЭС по суммарной величине радиоактивности (см. главы 1 и 2). Этот радионуклид хорошо поглощается тканями тела (особенно активно – корой надпочечников) и растворяется в жировых тканях человека и животных. Известно, что даже малые дозы облучения криптоном-85 могут повысить частоту рака кожи (Sumner, 1993). Криптон-85, несомненно, влияет на протекание биологических процессов, поскольку он блокирует электропроводность тканей («Криптон-85...», 1978).

Радиохимики считают, что термин «инертные» можно применять лишь в химии, а не в физике, о которой идет речь, когда мы имеем дело с радиоизотопами (И.А.Реформатский, личное сообщ.). Уже поэтому слово «инертные» по отношению к радиоизотопам следует всегда употреблять в кавычках. Радиоизотопы не могут быть инертными, они должны оказывать

серьезное влияние на процессы жизнедеятельности. Видимо, учитывая это обстоятельство, иногда слово «инертные» атомщики заменяют на слово «благородные» (см. например, Козлов, 1991), опять таки, взятого из химического жаргона, и никак не отражающего характер их совсем «неблагородного» поведения по отношению к живому.

Радиоизотопы «инертных» газов участвуют в возникновении такого феномена, как столбы ионизированного воздуха («свечки») над АЭС. Эти образования могут наблюдаться с помощью обыкновенных радиолокаторов на расстоянии в сотни километров от любой АЭС (Кононов, 1993). Как можно всерьез утверждать, что такое масштабное изменение физических особенностей атмосферы никак не сказывается на состоянии и качестве окружающей среды, на миграционных путях птиц и летучих мышей, на поведении насекомых, на климате?

Радиоактивные «инертные» газы, выбрасываемые АЭС, резко меняют параметры атмосферного электрического поля, искажают естественный электромагнитный фон (Бегун и др., 1996). Хотя фундаментальных исследований колебаний атмосферного электричества в районе действия АЭС атомщики так и не удосужились провести, отдельные наблюдения подтверждают факт резкого уменьшения напряженности электромагнитного поля под газо-аэрозольным выбросом АЭС, резкие пространственно-временные колебания напряженности атмосферного электрического поля, даже со сменой знака поля (Бегун и др. 1996).

#### 4.5. О «глобальных» радионуклидах

Среди радионуклидов, возникающих в атомных реакторах, есть такие, которые получили название «глобальных» (Козлов, 1991): это те нуклиды, которые быстро распространяются по всей биосфере. К ним относятся в том числе:

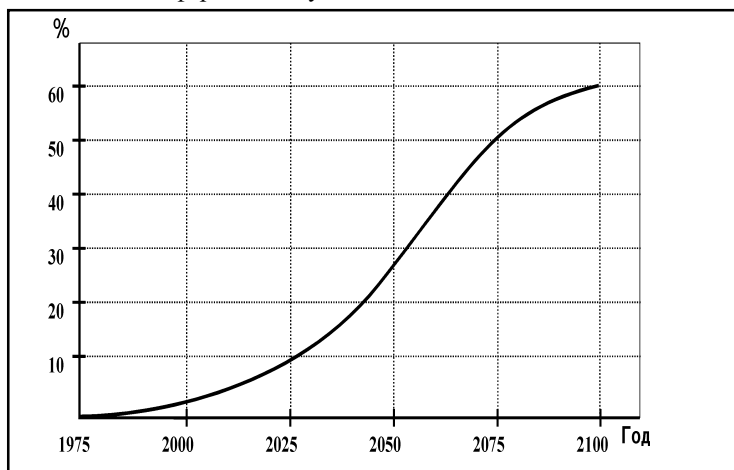
- криптон-85, (*период полураспада 10,6 лет*);
- тритий или радиоактивный водород, водород-3 (*12, 3 года*);
- цезий –137 (*30 лет*);
- углерод-14 или радиоуглерод (*5730 лет*);
- йод-129 (*15,7 млн. лет*).

Два последних радионуклида (радиоуглерод и йод-129) в силу длительного периода полураспада относятся одновременно и к «вечным» (см. ниже) радионуклидам.

Признано, что **современный уровень знаний не позволяет решить проблему обеспечения радиационной безопасности биосферы и населения Земли от глобальных радионуклидов** (Василенко и др., 1997).

Конспективно перечислю основные характеристики трех наиболее известных глобальных радионуклидов – криптона-85, трития и радиоуглерода.

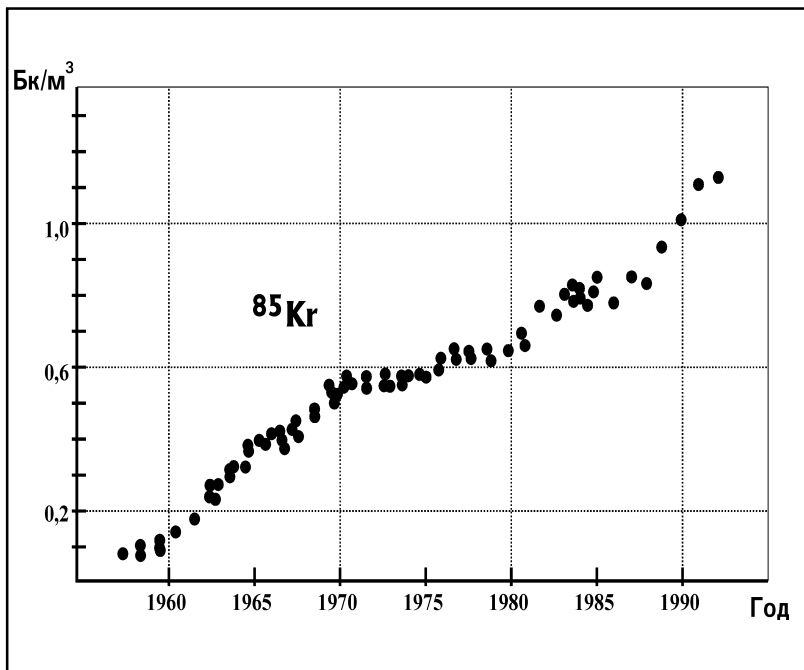
По объему образования и масштабу выбросов радионуклид **криптон-85** находится на первом месте среди других радионуклидов, выбрасываемых с газоаэрозолями через трубу АЭС: его выбрасывается на несколько порядков больше, чем всех остальных радионуклидов — 375 Ки на МВт·год (Легасов и др., 1984). Криптон-85 трудно улавливается фильтрами и очень подвижен в атмосфере. Он не поглощается ни Мировым океаном, ни почвами, но зато хорошо поглощается некоторыми тканями живых организмов, например корой надпочечников, жировыми тканями человека и животного. Известно, что даже малые дозы облучения криптоном-85 могут повысить частоту рака кожи (Sumner, 1993). Криптон-85 влияет на протекание биологических процессов, блокируя электропроводность тканей («Криптон-85...», 1978). Возможные последствия появления в атмосфере значительного количества криптона-85 крайне неприятны. Несомненна роль криптона-85 в изменении электропроводности атмосферы. По расчетам, при до-чернобыльских темпах развития ядерной энергетики, после 2000 г. должно было бы начаться лавинообразное изменение электропроводности атмосферы из-за накопления там криптона (рис. 7). При этом к моменту стабилизации этого процесса (что было бы возможным через 100 лет) электропроводность атмосферы может увеличиться на 70 % .



*Рис. 7. Изменение электропроводности атмосферы из-за выбросов криптона-85 предприятиями ядерно-топливного цикла (в %% к фоновому уровню начала 80-х годов) при до-чернобыльских темпах развития атомной энергетики (Легасов и др., 1984).*

Увеличение электропроводности атмосферы должно вызывать серьезные геофизические эффекты, например, уменьшение электрического заряда Земли и изменение магнитного поля (Орлова, 1994), уменьшение электрического сопротивления атмосферы между океанами и ионосферой, увеличение электризации гроз, изменение характера осадков, увеличение числа торнадо и смертей (Легасов и др., 1984). Криптон-85 должен играть ведущую роль и в изменении естественного электромагнитного фона в окрестностях АС (Бегун и др., 1996), с возможным влиянием этих процессов на состояние нервной и сердечно-сосудистой систем человека.

Количество криптона-85 в атмосфере (в основном в результате работы АЭС и заводов по переработке ОЯТ), несмотря на замедление темпов развития атомной энергетики после 80-х гг. продолжает ежегодно увеличиваться (рис. 8).



**Рис. 8. Рост концентрации криптона-85 в воздухе Праги**  
(no: Wilhelmova et al., 1995).

Уже сейчас содержание криптона-85 в атмосфере в тысячи раз выше, чем до начала атомной эры. Теперь в каждом глотке вдыхаемого нами воздуха содержится этот изотоп (Государственный доклад, 1992. с. 36). Учтем и то обстоятельство, что криптон-85 в атмосфере ведет себя как тепличный газ, внося тем самым вклад в антропогенное изменение климата Земли. Проблема криптона-85 через некоторое время может стать не менее важной, чем сегодняшняя проблема истощения озонового слоя.

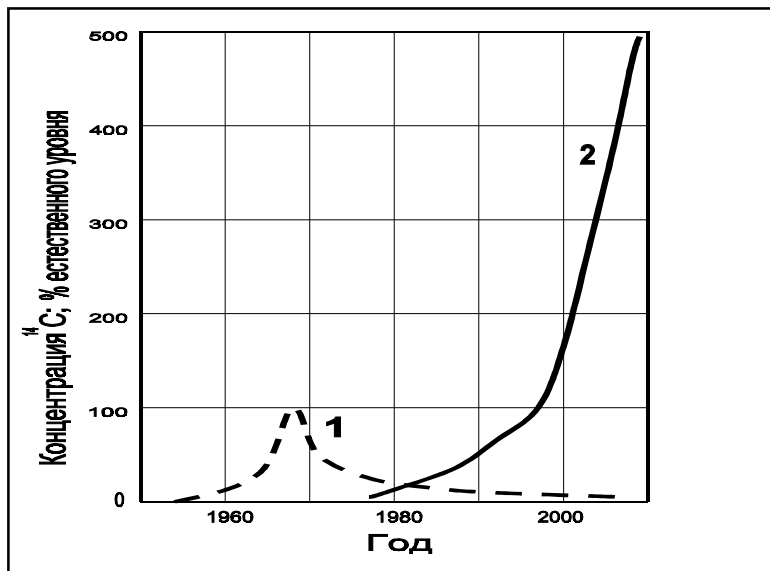
Радиоактивный водород или **тритий** (водород-3) еще один глобальный радионуклид. По суммарной радиоактивности в жидких выбросах АЭС тритий занимает первое место, а в газо-аэрозольных выбросах тритий по радиоактивности уступает только «инертным» радиоактивным газам, и входит в число основных дозообразующих радионуклидов.

Тритий неизбежно образуется в любом реакторе при действии нейтронов на любые водородсодержащие вещества (например, на воду -  $H_2O$ ). Это чрезвычайно подвижный изотоп водорода. Он способен при нагревании проникать даже через толстые стальные стенки реактора и тем более через стенки трубопроводов. Не существует фильтров, способных задержать тритий. До 95 % образующегося в реакторах трития проникает последовательно через первый и второй контуры в охлаждающую воду и через технологические каналы неизбежно попадает в окружающую среду. Природные воды вокруг всех АЭС загрязнены тритием (см. выше главу 2).

До 1954г. в биосфере было не более 2 кг трития (99 % - в океане) активностью около 18 МКи. В результате атомных испытаний и работы атомной промышленности в биосферу поступило дополнительно 1900-8000 МКи, и, с учетом естественного распада, к 2000 г. в биосфере находилось, по-видимому, более 150 кг трития. Сейчас основным источником поступления трития являются АЭС, особенно тяжеловодные (Усачев, 2000). Уже давно на примере американских АЭС было показано, что содержание трития в хвое деревьев с подветренной стороны от АЭС может быть до 10 раз больше, чем с наветренной. Это служит прямым доказательством того, что именно АЭС являются источником трития (см. также главу 2). Тритий замещает атомы обычного водорода во всех соединениях с кислородом, серой, азотом. А эти соединения составляют значительную часть массы живых организмов. Тритий легко связывается протоплазмой живых клеток и тысячекратно накапливается в пищевых цепях. На это пока мало обращают внимания, хотя ничего хорошего от замещения обыкновенного водорода в молекуле воды и других веществ

в живых организмах молекулами трития ждать не приходится хотя бы уже потому, что когда тритий распадается, он испускает бета-излучение и превращается в гелий ( $^3\text{He}$ ). Эта трансмутация должна быть очень опасной для живых организмов, так как при этом должны разрываться цепочки ДНК и РНК – хранителей генетической информации клеток, и, как следствие, могут возникать разнообразные мутации и онкологические последствия. Поэтому основная радиационная опасность трития связана с внутренним облучением - при попадании трития в организм через легкие, с пищей и через кожу. Тритий так же легко, как через легкие, проникает в организм через кожу при контакте с тритиевой водой (Козлов, 1977). Особую опасность представляет тритий для растущего детского организма (Демин, 2000). Даже МАГАТЭ в одном из своих обзоров признало, что наличие трития вокруг АЭС скоро станет «главной головной болью» (цит. по: Грейб, 1994, с.163). Образование трития – одна из важных экологических преград для будущей термоядерной энергетики (в термоядерном реакторе должно образовываться трития в 10 -100 тыс. раз больше чем на обычной АЭС той же мощности; Усачев, 2000).

Последний из рассматриваемых здесь глобальных радионуклидов – **радиоуглерод**. Сейчас его содержание в атмосфере втрое больше, чем в доатомную эпоху. По прогнозам, если бы были осуществлены планы развития атомной энергетики 80-х гг. и мощность АЭС мира увеличилась бы до 8300 млн. кВт к 2010 г., то содержание радиоуглерода в биосфере возросло бы примерно в 400 раз. Сейчас содержание радиоуглерода в биосфере в десятки раз больше, чем его было до развития атомной промышленности. Радиоуглерод в большом количестве накапливается в биосфере, замещая обычный углерод в органических соединениях. Испускаемые в этом случае бета-частицы служат причиной очень высокой ионизации, что неизбежно должно вести к радиационно-химическому повреждению находящихся рядом органических молекул (Воронцов, 1993), в том числе молекул РНК и ДНК. Таким образом, радиоуглерод оказывается мощным мутагеном, попадающим в биосферу в результате деятельности атомной промышленности. По-видимому, уже в настоящее время уровень дозовой нагрузки от инкорпорированного (то есть попавшего внутрь организма и внедрившегося в структуру углеродсодержащих молекул) радиоуглерода реакторного происхождения может быть сопоставим с уровнями облучения, получаемыми от естественных радионуклидов. В результате работы атомной промышленности содержание радиоуглерода в биосфере быстро растет (Рис. 9)



**Рис. 9.** Изменение содержания техногенного радиоуглерода  $^{14}\text{C}$  бомбового (1) и реакторного (2) происхождения при планировавшихся в 80-е годы темпах развития атомной энергетики (Рублевский и др., 1979).

«... Углерод – основной строительный материал живых организмов. Радиационный эффект от распада  $^{14}\text{C}$  превзойдет по воздействию на окружающую среду эффект даже таких сильно радиоактивных изотопов, как изотопы стронция и цезия... (выделено мной - А.Я.)

...Возникающая в результате использования той или иной ядерной технологии проблема утилизации радиоактивного изотопа углерода  $^{14}\text{C}$ , который так или иначе попадет в естественные циклы биосферы, оказывается исключительно сложной. Время полураспада  $^{14}\text{C}$  составляет 6000 лет, поэтому системы захоронения, которые должны обеспечить снижение активности до безопасного уровня, должны существовать в течение нескольких десятков тысяч лет, что не под силу ни одному конструкционному материалу в связи с процессами коррозии»...

Из статьи «Энергетика и экология» действительного члена Российской Академии наук В.В. Алексеева и кандидата физико-математических наук. Н.А. Рустамова (1997, с.45)



Почему мы говорим о невозможности обеспечения радиационной безопасности человека и биосферы в целом от глобальных радионуклидов? Да уже потому, что невозможно ни практически, ни теоретически проверить, как же действуют на каждый из миллионов видов живых существ тот или иной глобальный радионуклид (которые раньше если и были в биосфере, то в тысячекратно меньшей концентрации). Выпустив атомного джина в биосферу, ни ученые атомщики, ни все остальные ученые мира вместе взятые, не знают, что этот джин может натворить. Атомщики в 50-е годы наивно считали, что ничего страшного этот джин не натворит. Оппоненты атомщиков всегда утверждали обратное – надеяться на то, что атомный джин сделает что-то хорошее, или хотя бы не опасное, – безответственно, его деятельность неизбежно будет опасной. То, что уже становится известным о действии радионуклидов на живую природу и человека (см. гл. 5 и гл. 6) – подтверждает худшие опасения.

#### 4. 6. О «вечных» радионуклидах

«Вечные» радионуклиды – это так называемые долгоживущие радионуклиды (ДЖН), период полураспада которых составляет сотни и тысячи лет, и, соответственно, время существования составляет тысячи и миллионы лет. Среди них (в порядке увеличения периода полураспада):

- Америций –241 (*период полураспада 458 лет, время существования - более 4 тыс. лет*);
- Радиоактивный углерод-14 (*5730 лет и более 57 тыс. лет*);
- Плутоний –240 (*6580 лет и 66 тыс. лет*);
- Америций-243 (*7370 лет и 73 тыс. лет*);
- Плутоний-239 (*24 360 тыс. лет и более 240 тыс. лет*);
- Технеций-99 (*213 тыс. лет, и более 2 млн. лет*);
- Плутоний-242 (*370 тыс. лет и 3,7 млн. лет*);
- Нептуний-237 (*2,2 млн. лет и 22 млн. лет*);
- Цезий-135 (*2,3 млн. лет и 23 млн. лет*);
- Йод-129 (*17 млн. лет и 170 млн. лет*).

Созданные в атомных реакторах, эти «вечные» радионуклиды теперь будут существовать практически всегда. **Современный уровень знаний, как и по отношению к глобальным радионуклидам, не позволяет решить проблему обеспечения радиационной безопасности населения и природы Земли от «вечных» радионуклидов** (Василенко и др., 1997).

Успокоительные расчеты, говорящие о том, что вся активность «вечных» составляет не более процента от естественной (и потому ее опасность пренебрежимо мала), основаны на методологически ошибочной и опасной идеологии «средней температуры по больнице».

Во-первых, никто никогда не исследовал (это – невыполнимая ни сейчас, ни в будущем научная задача) как действует тот или иной ДЖН на разные виды живых существ. Пока с достоверностью известно, что не только плутоний, но и иные актиниды (нептуний, америций, кюрий), а также такие «осколки» расщепления урана, как технеций, йод-129, цезий –135 являются не только радиоактивными, но и крайне токсичными.

Во-вторых, в силу неоднородности геофизических особенностей атмосферы Земли, «вечные» радионуклиды могут концентрироваться тысячекратно. Именно так произошло в 60-е годы после атомных испытаний в атмосфере: оказалось, что существует корреляция между географической широтой места и интенсивностью выпадения некоторых радиоактивных продуктов от таких взрывов. Этот процесс малоизучен (атомщики не любят изучать глобальные и отдаленные последствия своей деятельности), но сам факт неоднородного распределения вечных радионуклидов в биосфере по каким то геофизическим причинам несомненен (Часников, 1993).

В третьих, благодаря процессу биоаккумуляции (см. главу 5.1), влияние вечных радионуклидов может стать весьма существенным.

Одни из самых опасных вечных радионуклидов – три изотопа плутония (плутоний-240, 239, 242). Проблема плутония недооценивается обществом и сознательно замалчивается атомщиками. В земной коре было не более 50 кг этого сверхтоксичного элемента до начала его производства человеком в 1941 г.

Сейчас глобальное загрязнение плутонием принимает катастрофические размеры. К 2000 г. все АЭС в мире произвели более 1100 тонн плутония (Caldicott, 1997), что- вместе с более чем 300 тоннами, произведенного для производства ядерного оружия более чем достаточно для многократного смертельного отравления всех живущих на планете людей и живой природы.

Хотя плутоний — металл, он крайне летуч. Стоит пронести открытым его образец через комнату, как допустимое содержание плутония в воздухе будет превышено. У него низкая температура плавления, всего 640° С. Он способен к самовозгоранию в присутствии кислорода.

В апреле 1995 г. мне довелось услышать на одном из совещаний бравое заявление одного из ветеранов ПО «Маяк» - предприятия по производству оружейного плутония в Челябинской области - о преувеличении учеными токсичности плутония, которого он изрядно «наглотался» за время

работы на «Маяке». Но вот статистические данные по тому же «Маяку»: на каждый Грей дозы радиации от плутония, абсорбированного легкими, риск возникновения рака легких увеличивается на 30 % (Valter, 1995). Плутоний - одно из самых опасных веществ на планете. Добавлю, что далеко не все свойства этого вещества нам известны. Сенсационным для специалистов стали результаты недавних американских исследований, показавшие, что растворимость соединений плутония много выше, чем считалось ранее (Lewis, 2000). Это, кстати, резко осложняет организацию безопасного длительного хранения этого «золота XX века».

От идеально работающих АЭС плутоний не должен был бы попадать в окружающую среду, - он образуется в процессе нейтронного облучения ядерного топлива в реакторе и извлекается из отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) в процессе химической переработки. Но, как уже говорилось выше, из всегда присутствующих в реакторе поврежденных ТВЭЛов, небольшие количества плутония могут попадать в теплоноситель и, в конце концов, - в окрестности АЭС.

Точных данных по содержанию плутония вокруг АЭС в открытой литературе немного (как ввиду секретности таких данных, так и ввиду отсутствия внимания атомщиков к их сбору и анализу). Одни из них - по окрестностям Ленинградской АЭС. На расстоянии до 10 км вокруг этой АЭС в почве содержание плутония составляет 114-262 Бк/м<sup>2</sup>. Это в полтора раза выше уровня глобального загрязнения (от проведенных ядерных взрывов, аварий на АЭС, аварий спутников с радиоизотопными источниками энергии и др.). По соотношению изотопов плутония-238+239 к плутонию-240 было определено, что это — энергетический (возникший в ходе работы АЭС), а не оружейный плутоний (Ершов, 1994). Теперь только вопрос времени, чтобы этот плутоний начал движение по экологическим цепям питания, с возможным результатом в виде опасной биоаккумуляции в каких-то организмах.

*«Особое место в радиоактивном загрязнении почвы занимают трансурановые элементы — плутоний, америций, кюрий, нептуний. Они имеют периоды полураспада до тысяч и десятков тысяч лет и поэтому являются источниками практически вечно-го загрязнения для человечества. Трансурановые элементы не имеют стабильных аналогов в природе, что определяет своеобразие их поведения. ...Поскольку гидроксиды америция и кюрия обладают более высокой растворимостью по сравнению с гидроксидами плутония, они характеризуются более высокой подвижностью в*

*почве и доступны для растений. Поведение нептуния в почве наименее изучено. Известно, что его соединения отличаются наибольшей растворимостью среди всех трансурановых элементов и наиболее доступны для биоты. Миграция радионуклидов из мест временного или окончательного захоронения изучена недостаточно...»*

*Из статьи к.б.н. И.А.Рябцева в «Ядерной энциклопедии» (1996, с..300). 1*

Важной особенностью плутония, как и другого «вечного» радионуклида-технеция, - является то, что они оказываются чуждыми для живых организмов. На протяжении миллиардов лет эволюции жизни на планете, живые существа не сталкивались с этими нуклидами. Это делает их еще более непредсказуемыми в отношении воздействия на живое.

Уже произведенного атомной промышленностью количества «вечных» радионуклидов достаточно, чтобы тысячекратно отравить все живые существа на планете. Даже без учета выбросов предприятий атомной промышленности и продуктов, образовавшихся от ядерных взрывов, в мире накоплено: плутония около 1600 тонн, технеция - около 300 тонн, нептуния – около сотни тонн, йода-129 - более 60 тонн, цезия-135 – более 90 тонн...(Иванов, Петров, 1999).

Итак, в результате работы атомных реакторов, появились и быстро накапливаются радиотоксичные нуклиды, которые будут существовать в биосфере ВЕЧНО, с непредсказуемыми, но явно неблагоприятными, последствиями для всего живого.

\*\*\*

Обобщая материал, приведенный в этой главе можно сказать: мы непозволительно мало знаем о последствиях тех процессов, которые начинаются расщеплением природного урана в атомных реакторах. Несомненно и то, что атомная наука непростительно мало внимания уделяет выяснению опасностей, вызываемых работой АЭС. Этих опасностей значительно больше, чем нам внушают апологеты развития атомной энергетики, и они гораздо многообразнее. Современный уровень знаний не позволяет определить хотя бы весь спектр этих опасностей, который постоянно расширяется.

## ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ РАБОТАЮЩИХ АЭС НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ.

В предыдущих разделах были рассмотрены масштабы и характер радиационного загрязнения среды обитания работающими АЭС. В этой главе сделана попытка обобщить имеющиеся данные о влиянии АЭС на биосферу Земли: на живые организмы и среду их обитания. Без такого рассмотрения нельзя сделать окончательный вывод об «экологической чистоте» АЭС.

Основное влияние АЭС сказывается через влияние возникших и распространяемых от нее радионуклидов, попадающих в живые организмы, экосистемы, биокосные (почва, водоемы) и косные ( атмосфера, геологические структуры) компоненты биосферы. Сравнительно с этим влиянием, второстепенным оказывается выброс большого количества тепла, неизбежно сопровождающий работу любой АЭС, как сооружения с коэффициентом полезного действия не более 35 % .

Общее свойство всех радионуклидов – мощное мутагенное действие. Мутации могут возникать в соматических тканях (клетках тела), нарушать течение биохимических процессов и инициировать раковые заболевания. Но особенно значимы с экологической точки зрения мутации в генеративных (сперматозоиды, сперматоциты, оогонии и яйцеклетки) структурах, вызывающие те или иные поражения наследственности в чреде поколений. Современная наука более или менее разобралась с крупными мутациями (которые обычно и учитываются в радиационных генетических исследованиях), но даже близко не подошла к учету и характеристике так называемых «малых» мутаций. Известно лишь, что общее число этих малых мутаций многократно превосходит число обычно регистрируемых мутаций (см. например, Левонтин, 1978; Ayala, Kiger, 1984; Шевченко, Померанцева, 1985).

Каждый радионуклид обладает специфическими физико-химическими характеристиками и поэтому – специфическим влиянием. Представление о том, что важен лишь общий уровень облучения (неважно за счет каких радионуклидов) осталось, пожалуй, только среди военных. Они, как и в начале атомной эры, по-прежнему рассматривают энергию атома с точки зрения непосредственного и быстрого поражения живой силы противника. В случае с АЭС такое мощное и быстрое поражение случается лишь при авариях и катастрофах, а в обычных условиях происходит длительная постепенная суммация каждодневно небольших уровней облучения.

Общее число образуемых в реакторе радионуклидов достигает 300, и их воздействие на живую природу, несмотря на тысячи опубликованных

научных работ, изучено совершенно недостаточно. С одной стороны, это понятно, ведь надо выяснить влияние каждого из них на миллионы видов живых существ, а также влияние данного радионуклида в разных сочетаниях с другими радиационными и нерадиационными факторами. Такая научная задача в принципе не выполнима. Можно сказать, что нащупываются только некоторые самые общие принципы и эффекты действия радионуклидов на живое. Так например, оказалось, что разные радионуклиды обладают не только разными физико-химическими характеристиками, но и разными периодами выведения из организма (по аналогии с физическим это называется временем биологического распада) и разными периодами выведения из экосистем (время экологического распада). Но с другой стороны, не понятно, почему не изучены биологические эффекты хотя бы основных дозообразующих радионуклидов, которых не так уж и много. На Южном Урале, например, в окрестностях ПО «МАЯК» таких дозообразующих нуклидов всего восемь: радиоуглерод, цезий-137, цирконий-95, рубидий-106, стронций-90, селен-144, тритий и йод-131 (Зайцев, 2000). При этом в общедоступной литературе вообще нет данных по влиянию на живые организмы трех из них - циркония-95, рубидия-106 и селена-144.

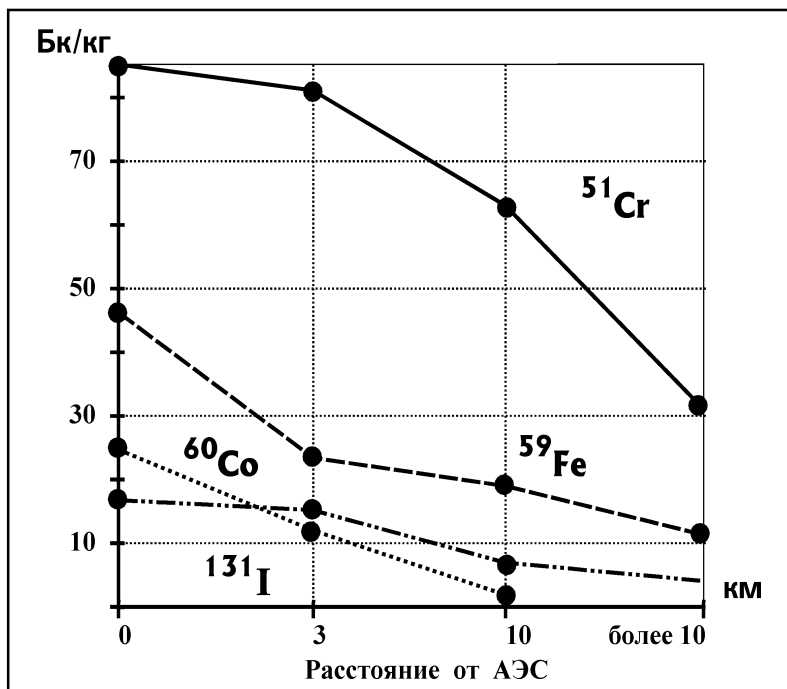
Наши атомщики должны были организовать исследования этих дозообразующих радионуклидов, если бы они ответственно относились к последствиям своей деятельности. Еще раз повторю цитату из великого Вернадского: *«Ученые...должны себя чувствовать ответственными за все последствия их открытий...»* (Вернадский, 1922). Атомщики – не почувствовали...

### **5. 1. Опасность биоаккумуляции радионуклидов**

Радионуклиды, как и стабильные изотопы соответствующих элементов, обладают способностью накапливаться в органах, тканях и органеллах внутри клетки, а также в почвах, водоемах, данном осадке и т.п. Это доказано для трития, радиоуглерода, америция, плутония, йода-131 и практически для всех изученных в этом отношении долгоживущих радионуклидов. При этом их концентрация может возрастать в тысячи, и даже сотни тысяч (!) раз. Это хорошо изученное в экологии явление так называемой биоаккумуляции (или биоконцентрации) радиоактивности.

В воде р. Колумбия (США), в непосредственной близости от работающих атомных реакторов, радиоактивность незначительна и не превышает принятых норм. В планктоне (мелких организмах, живущих в толще воды), концентрация радиоактивных изотопов выше в 2000 раз; в рыбах, поеда-

ющих этот планктон, выше в 15 000 раз; в теле рыбоядных птиц — выше в 40 000 раз; в теле птенцов ласточек, которых родители кормят насекомыми, летающими над водой, выше в 500 тыс. раз, а в желтке яиц водоплавающих птиц — более чем в 1 млн. раз выше, чем в воде (Поташников, 1994). Близкие данные получены и для отечественных АЭС. Данные по биоаккумуляции ряда радионуклидов, сбрасываемых Ленинградской АЭС, приведены на рис. 10.



**Рис. 10.** Концентрация некоторых радионуклидов в растениях водоема-охладителя на разном расстоянии от Ленинградской АЭС в 1973-1985 гг. (по данным Крышева, Рязанцева, 1993).

Коэффициенты накопления (концентрации, аккумуляции) различных радионуклидов в водных растениях (во сколько раз увеличено содержание нуклида в растениях сравнительно с содержанием его в воде) для большинства радионуклидов – продуктов коррозии реактора и первого контура, - находятся в интервале 1400 - 4000 (Блинова, 1991), но могут дости-

гать 15 000 - 17 500 (церий-144 и рутений-106), 36 000 и 42 000 для полония-210 (треска, морские ракообразные, Jonston et al., 1996) В биообращениях эти коэффициенты особенно велики: до 210 000 - 234 000 для ниобия-95 и церия-144 (Крышев, 1990). Несомненно, при таких коэффициентах накопления поражения генетического аппарата клеток (ДНК, РНК) просто неизбежно.

В 1999г. Министерство сельского хозяйства, рыболовства и продуктов питания Великобритании предупредило население об опасности содержания, охоты и поедания домашних голубей в радиусе 16 км от атомного центра в Селлафилде. Оказалось, что голуби каким-то неясным пока образом накапливают в своем организме значительное количество радионуклидов – до 50 тыс. Бк/кг веса, что в 40 раз выше нормы безопасности для продуктов питания, принятой в Европейском Союзе (Edwards, 1999). Помет этих голубей по концентрации радионуклидов относится к радиоактивным отходам. Концентрация цезия и плутония на голубятне у одного из любителей–голубеводов в этом районе Англии оказалась в 800 раз выше, чем на соседних участках..

*«...Наверное, то, что они были уничтожены – хорошо, так как это спасло их от раковых мучений...».*

*Из рассказа хозяйки голубятни в пос. Сискейл около британского атомного центра Селлафилд, после того как Британская национальная ядерная компания уничтожила всех 1500 опасно-радиоактивных голубей и захоронила старую голубятню, как радиоактивные отходы (Edwards, 1999, p. 48)*

Через несколько месяцев после этого происшествия в Великобритании, в Хэнфорде, атомном центре США, в рабочих помещениях вдали от реакторов был обнаружен высокорadioактивный помет домовых мышей, а также высокорadioактивные дрозофилы (плодовые мушки), как оказалось привлекаемые почему-то специальным защитным покрытием на хранилищах высокоактивных отходов. В 1996 г. в Калифорнии, в окрестностях АЭС около г. Сан-Диего были пойманы четыре опасно высокорadioактивные кошки. Россия не отстает: в городе Северске, в окрестностях промышленных реакторов по производству плутония, бегают «светящиеся» собаки и летают радиоактивные вороны (Наумов, 2000). Эти факты заставляют обратить внимание на еще один путь распространения радионуклидов с территории атомных установок – через животных. Утки, живущие на Ольховском болоте у Белоярской АЭС, тоже должны быть радиоактивны, и какой нибудь охотник за тысячи километров от Екатеринбурга может получить опасную дозу, полакомившись такой утинойой.



*«...дозиметрический контроль обнаружил у пришедшего на работу специалиста превышение радиационного фона в 2-3 раза против нормы. В центре Санэпиднадзора, куда отправили бедолагу, подтвердили, что источник излучения находится в желудке этого человека.... ядерщик припомнил, что накануне был в гостях, где его не только угостили вкусной лосятиной, но и даже дали ее с собой... фарш из лосятины проверили и были шокированы - уровень содержания цезия в мясе превышал его обычное содержание в мясе диких животных в полторы тысячи раз! Обследовали часть тех гостей и хозяев, которые лакомились лосятиной - результат оказался аналогичным.*

*Специалисты уверены, что мясо лося гостеприимный хозяин приобрел у браконьера, убившего зверя, живущего на промышленной площадке атомного производства. Там обнаружены лосиные следы, которые вели к печально известному озеру Карачай, ставшему одним из крупнейших в мире хранилищ жидких радиоактивных отходов...».*

*«Превышение радиационного фона в 2-3 раза обнаружено у пришедшего на работу жителя города уральских атомщиков Озерска». ИТАР-ТАСС, Челябинская область, 24 февраля, 1999 г., Корр. Евгений Ткаченко.*

Обнаружено, что радионуклид технеций может тысячекратно, по сравнению с содержанием в воде, накапливаться в телах морских червей и ракообразных, а также в морских водорослях (Masson et al., 1989).

Известно, что уровень биоаккумуляции может значительно варьировать по годам, сезонам и месяцам. Именно такая временная изменчивость поглощенной дозы обнаружена в популяциях трех видов рыб в водоемоохладителе Ленинградской АЭС. У плотвы поглощенная доза в июле была в 7 раз выше, чем в апреле и октябре (Блинова, 1991).

Дополнительную сложность выяснению эффекта биоаккумуляции придает тот факт, что внутри организма радионуклиды распределены обычно неравномерно: в одних органах и тканях их накапливается существенно больше, чем в других. Это характерно не только для человека (где распределение нуклидов в органах изучено сравнительно полно), но и для животных, и растений (изучено несравнимо менее детально). В стеблях и листьях сельскохозяйственных растений содержится обычно в пять раз больше радионуклидов, чем в зернах (Козьмин, Круглов, 1999, табл. 14). Надо отметить что разные радионуклиды распределяются внутри организма по разному. Одни (например, тритий, радиоуглерод, рубидий-87 и

цезий-137) распределяются более или менее равномерно, другие – концентрируются в определенных органах (например, стронций – в скелете, йод – в щитовидной железе), третьи (например, рутений-106, селен-141, 144, трансурановые элементы) – в печени и легких (Алексахин, Корнеев, 1992).

Уже известно, что отдельные виды растительных и животных организмов накапливают радионуклиды в разном количестве. Это может быть связано с тем, что радионуклиды могут быть похожи на биогенные элементы, которые эволюционно важны для живого. Например, стронций-90 обладает химическими характеристиками, несколько схожими с характеристиками кальция, а цезий-137 – с калием. Кальций и калий – элементы обычного питания растений и поэтому растения, как правило, аккумулируют стронций и цезий в больших количествах, чем, например, рубидий или селен. Известны не только видовые, но и сортовые (популяционные) различия по темпам накопления радионуклидов в растительных организмах. Показано, что среди обычных сельскохозяйственных культур России, разница в накоплении радионуклидов при произрастании в одном и том же месте может достигать 5 раз, а между разными сортами одной культуры – до 3-х раз (Козьмин, Круглов, 1999). Многократно различаются по коэффициентам накопления растения, произрастающие на разных почвах. Например, на черноземах в зерна гречихи переходит из почвы в 25 раз больше стронция-90, а в клубни картофеля - в 6 раз меньше цезия-137, чем на супесчаных почвах (Козьмин, Круглов, 1999).

В проблеме биоаккумуляции далеко не все ясно. Понятно, что различия в накоплении радионуклидов мужскими и женскими особями (табл. 20) должно быть связано с особенностями размножения, но непонятно, например, почему травяные лягушки (*Rana arvalis*) с пятнистой окраской (форма «maculata») накапливают в теле достоверно больше стронция-90, чем лягушки с полосатой окраской спины (форма «striata») (Покаряевский, Усачев, 1993).

Таблица 20

Половые различия в биоаккумуляции стронция-90 и цезия-137 (кБк/кг)  
у травяных лягушек (*Rana arvalia*) в одной из популяций  
на Южном Урале (Покаряевский, Усачев, 1993)

Группа особей	Стронций – 90	Цезий-137
Взрослые самцы	150 ± 50	0,60 ± 0,10*
Взрослые самки	250 ± 75	0,75 ± 0,50*

\* $p < 0,001$

Обобщая, можно сказать, что процесс биоаккумуляции радионуклидов является одним из всеобщих и важных факторов перераспределения и концентрации техногенных радионуклидов, так или иначе попавших в окружающую среду. Величина концентрации радионуклидов зависит в природе от великого множества факторов (видов и физиологического состояния организмов, типа водоема и почв, времени года и т.п.). Это означает, что даже незначительные исходные выбросы и концентрации радионуклидов могут непредсказуемо стать значимыми и опасными.

## **5.2. Влияние на растительность**

Исследования влияния нормально работающих АЭС на растительность начались, наверное, еще лет двадцать назад, и сразу же обнаружилось немало тревожного. Споры о масштабах такого влияния идут и по сей день, но уже в 1985 г. федеральное Агентство по охране среды Швейцарии вынуждено было признать, что в «окрестностях ряда АЭС и ядерных предприятий (шахты) могут возникать большие поражения, чем на сопоставимых площадях, не имеющих ядерных предприятий. Степень поражения сопоставима с поражением от промышленных выбросов» (цит. по: Грейб, 1994. с.183). Совпадения поражения лесов с расположением АЭС и розой ветров обнаружены не только в Швейцарии, но и во Франции и Германии (Грейб, 1994).

Серьезные исследования влияния АЭС на растительность весьма трудоемки. Надо до пуска АЭС тщательно описать состояние растительного покрова на территории, окружающей АЭС в радиусе до 10-15 км, а по розе ветров – и до 50 км. (см. выше гл. 2). Затем на протяжении многих лет надо вести разнообразные наблюдения (по фенологии, динамике численности, распределению по биотопам и т.п. хотя бы для ключевых видов в экосистемах). С такой работой могли бы справиться только несколько квалифицированных специалистов, занятых целый день. При этом, с помощью подбора специальных трансект или каким-то другим образом, надо исключить влияние других антропогенных факторов (например, выбросов промышленных предприятий и транспорта), что не так просто сделать в индустриально развитом районе. Ясно, что для таких исследований требуется серьезное долгосрочное финансирование. Поскольку никакая АЭС не заинтересована в проведении таких работ, они до сих пор нигде и не проведены. У других, независимых от атомной индустрии, организаций денег хватает, как правило, лишь на эпизодические, кратковременные исследования.

Иногда даже краткосрочные эпизодические исследования дают весьма интересные результаты. Так, например, недавно удалось показать, что аварийный выброс радионуклидов в Арзамасе-16 привел к статистически значимому изменению величины асимметрии листовых пластинок березы (Костикова, 1999).

Огромный материал по влиянию радиации на растительность дало исследование последствий радиационных аварий на Южном Урале и в Чернобыле (обзор см. Sokolov, Krivolutsky, 1998). Хотя изученные там уровни радиационной нагрузки во много раз превышают обычно существующие в окрестностях АЭС, некоторые общие закономерности, обнаруженные на этих радиационной сильно загрязненных территориях приложимы и к территориям с малыми уровнями загрязнений. Оказалось, что на загрязненных территориях (и в соответствующих экспериментах) уровень спонтанного мутагенеза у всех изученных видов растений (определяемый по наличию аномальных хромосом) всегда заметно отличается (Шевченко и др., 1993). Об этом же говорят и данные по сельскохозяйственным растениям (обзор см. Пристер и др. 1991). Мутации у растения традесканция возникали при облучении в дозе всего 2,5 мГр (Sparrow et al., 1972).

Глубина нашего незнания выражается и в том, что очень мало известно о специфическом действии разных типов излучения и разных радионуклидов. Оказалось, например, что альфа-излучение в очень малых дозах приводит к увеличению числа ненормальных клеточных делений (митозов) и угнетению роста проростков ряда видов растений, тогда как бета- и гамма-излучение в тех же дозах вызывает аномальный рост (Куликов и др., 1990; Козубов, Таскаев, 1994)

На основании лабораторных экспериментов есть основания предполагать, что накопление углерода-14 может вести к замедлению роста древесных растений. Сейчас в составе атмосферы количество этого радионуклида увеличено на 25 % по сравнению с доатомной эрой. Возможно, именно это и привело к необъяснимому другими причинами замедлению роста деревьев, по заключению ряда лесоводов, наблюдаемому чуть ли не на всех континентах.

Около Северска (бывший Томск-7), где длительное время работали и работают до сих пор несколько промышленных атомных реакторов, обнаружены коррелированные с уровнем радиационного загрязнения территорий морфогенетические изменения у шести видов растений. Эти изменения включали: карликовость, альбинизм, укорочение соцветий, стерильность пыльцы, повышенный уровень аберраций хромосом (Рих-

ванов, 1997; Меньщиков, 1995).

Конечно, имеющихся данных по влиянию малых доз радиации недостаточно чтобы количественно и качественно оценить степень влияния радиоактивных выбросов АЭС на растительность. Но, вместе с огромным количеством экспериментальных данных о влиянии малых доз радиации на молекулярном, генетическом, клеточном, тканевом и организменном уровнях, имеющихся данных вполне достаточно, чтобы прийти к научно аргументированному заключению, что такое влияние существует.

### 5. 3. Влияние на животный мир

Облучение низкими дозами на уровнях, которые могут наблюдаться в окрестностях АЭС, считалось пренебрежимо малым и безопасным на протяжении многих лет развития атомной промышленности. В результате такой идеологии (основанной на придании значения только крупным радиационным поражениям, значимым при атомной войне) последствия облучения в малых дозах далеко не изучены (подробнее см. другую брошюру этой серии - Булакова, Яблоков, 2000, а также обзор *Biological effects...*, 1999)., а прямые данные по влиянию АЭС на животных пока отрывочны. В 1976—1978 гг. в Институте биологии развития им. Н.К. Кольцова Академии наук СССР В.М.Захаров провел обстоятельные работы по сравнению популяций рыб, обитающих в водоемах-охладителях атомных станций в Карлсруне (Швеция), Игналине (Литва) и Сосновом Бору (Россия). Рыбы, обитающие в Карлсруне, по всем показателям были нормальными, у ЛАЭС и в Игналине - заметно асимметричными (Захаров, 1981). Позднее появились другие работы, убедительно показавшие, что в данном случае обнаруживается влияние не температуры или изменения химического состава среды обитания, а сверхмалых доз облучения (Рябов, Крышев, 1990, см. рис. 8).

В Томской области обнаружено влияние радионуклидов, выбрасываемых промышленными атомными реакторами Сибирского химического комбината (СХК) в г. Северске (Томск-7) на самые разные виды животных (Ильинских и др., 1995; Москвитина и др., 1996; Рихванов, 1997 и др.). В многочисленных исследованиях независимых от СХК экспертов обнаружена корреляция между уровнем радиоактивным загрязнением местности и :

- нарушениями процесса размножения и эмбриогенеза;
- увеличением числа патологий у мелких млекопитающих
- (поражения центральной нервной системы, крови и костного мозга, заболеваний внутренних органов);

- хромосомными нарушениями;
- повышенной смертностью (обнаружена у землероек-бурозубок рода *Sorex*, полевки-экономки (*Microtus*), лесных полевок (*Clethrionomys*), дроздов (*Turdus pilaris*), диких голубей (*Columba livia*), лягушек (*Rana arvalis*);
- нарушениями нормального поведения (у пауков, например, чем выше уровень загрязнения местности, тем больше процент аномальных паутинок);
- появлением большого числа уродливых особей среди ряда веслоногих и ветвистоусых ракообразных и коловраток в водоемах.

Группа исследователей Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Гилева и др., 1995; Гилева и др., 1996) на протяжении многих лет изучали генетические изменения в популяциях грызунов, обитающих в районе Восточно-уральского радиоактивного следа (Кыштымская радиационная авария 1957 г.) и в районе Тоцкого полигона в Оренбургской области (натурное испытание ядерного оружия в 1954 г.). Уровень радиационного загрязнения в некоторых случаях был близок тем, которые наблюдаются после серьезных аварий на АЭС. Была обнаружена значительная дестабилизация генофонда этих популяций сравнительно с генофондом популяций, обитающих на радиационно-спокойных территориях. Важно обратить внимание на тот факт, что эта генетическая нестабильность была обнаружена через десятки поколений (!) после радиационного воздействия. Если это справедливо и для человека, то истинные последствия облучения радионуклидами АЭС будут ясны через много сотен лет.

Исследования, проведенные после Чернобыльской катастрофы в Гомельской области, показали: количество белка в коровьем молоке и даже фракционный состав белков молока (бета-лактоглобулинов, эвглобулинов и псевдоглобулинов) различаются при загрязнении местности разными радионуклидами (Алешко, 1996).

В 1996 г. по ряду городов Западной Европы с успехом прошли выставки рисунков насекомых художника-анималиста Корнелии Хессе-Хоннегер под названиями «*После Чернобыля: Зеркало будущего*». Художница с 1961 г. готовила иллюстрации для генетических исследований дрозофил в Зоологическом музее Университета Цюриха (Швейцария). После чернобыльской катастрофы она обратила внимание, что на загрязненных чернобыльским выбросом территориях Швеции появились насекомые с деформированными крыльями и другими аномальными признаками. Заинтересовавшись этим явлением, художница стала собирать насекомых вокруг атом-

ных станций Швейцарии, Германии, Великобритании и США. Ее находки показали, что с подветренной стороны у АЭС «Круммель» в Нижней Саксонии, АЭС «Милано» и «Мендризо Лейбштад» в Южной Швейцарии, АЭС «Крис-Мальвил» во Франции, американских АЭС «Три - Майл - Айленд» и «Пич Боттом», а также вокруг британского центра по переработке ядерного топлива в Селлафилде, встречается необычно много деформированных насекомых. Ведя постоянные наблюдения в Швейцарии, она обнаружила, что число деформированных насекомых заметно сократилось в окрестностях одной из АЭС после ее полуторагодовой остановки (Hall, 1996). Эти наблюдения показали, что если средний процент деформированных насекомых вдали от АЭС или с наветренной стороны от АЭС был в среднем около 3 %, то с подветренной стороны таких насекомых было около 22 % (Wings ...,1996).

Шведские, немецкие и швейцарские генетики презрительно отмахнулись от этих находок, как от недостаточно научных, хотя эти данные вполне коррелируют с фактами десятикратного повышения содержания радиоуглерода в листьях деревьев с подветренной стороны от давно работающих АЭС (см. выше).

Но вот вполне научные данные. На градиенте радиационного загрязнения от 15 мкР/час до 220 мкР/час (сопоставимого с тем, что наблюдается вокруг некоторых предприятий атомной индустрии, см. выше гл. 2) обнаружено высоко коррелированное с уровнем загрязнения изменение количества ДНК у лягушек *Rana esculenta* (Vinogradov, Chubanishvili, 1999).

Как показывает соотношение содержания глюкокортикоидов и инсулина (характеристика эндокринного статуса, отражающего адаптивные способности организма), при длительном воздействии малых доз (пятое поколение белых крыс в чернобыльской зоне; около 2,5 сГр в течение жизни) подопытные крысы потеряли способность адекватно реагировать на раздражение (Мизина, 1996).

Все приведенные выше отрывочные данные весьма тревожны. Получается, что реальные условия дополнительного облучения, возникающие вокруг предприятий атомной индустрии, вызывают опасные изменения в геноме, популяциях и экосистемах. Поскольку существует общая тенденция выявления все новых и новых опасностей, связанных с воздействием радионуклидов в концентрациях, сравнимых с теми, которые наблюдаются в окрестностях АЭС (см. выше гл. 2), то реальные генетические последствия радиационного загрязнения окружающей среды в XX в., вызванные атомной энергетикой, человечество в полной мере может ощутить также через десятки поколений.

#### 5. 4. Влияние на микроорганизмы.

До сих пор, по-видимому, не было выполнено ни одного специального исследования о влиянии радионуклидов, выбрасываемых АЭС, на микроорганизмы. Однако есть некоторые косвенные свидетельства такого влияния.

По-видимому, во всех водоемах-охладителях появляется больше бактерий и сине-зеленых, чем их было раньше. Этот факт зарегистрирован для Копорской губы у Ленинградской АЭС (Сазыкина, 1991), для озер Удомля и Песьво - водоемов-охладителей Калининской АЭС (Волкова, 1997).

Известно, что в Чернобыльской зоне наблюдались вспышки изменчивости бактерий – появлялись новые неведомые прежде штаммы микроорганизмов, выражающиеся в активизации (увеличении числа и тяжести) практически всех известных микробиологических заболеваний (краткий обзор см. Яблоков, 1997, с. 126). В районах чернобыльского загрязнения на Украине отмечается повышенная активность ряда вирусов, коррелированная с уровнем радиационного загрязнения местности (Ковалевская, 1995). Это же явление отмечено для радиоактивно загрязненных территорий вокруг Томска-7 и Семипалатинского полигона (Ильинских и др., 1995)

Было бы интересно сравнить частоту и тяжесть кишечных токсикозов, гастроэнтеритов, дизбактериозов, сепсисов, вирусных гепатитов, полиомиелита, проявления респираторных вирусных инфекций цитомегаловирусной инфекции вокруг АЭС и вне их влияния. Пока такой работы не проведено, нельзя говорить об отсутствии влияния выбросов АЭС на микроорганизмы (можно говорить лишь об **отсутствии данных** о таком влиянии).

Обобщая все эти немногочисленные данные можно предположить, что зоны АЭС, благодаря сочетанию мутагенного и иного действия радиации, наличия больших водоемов-охладителей и повышения температуры могут оказаться своеобразными «*микробиологическими реакторами*» (Гагаринский и др., 1994) - очагами возникновения новых форм микроорганизмов в биосфере.

#### 5. 5. Тепловое загрязнение от АЭС

Говоря о влиянии АЭС на окружающую среду, нельзя не упомянуть о тепловом загрязнении. Тепловое загрязнение окружающей среды у АЭС, работающей на водо-охлаждаемых реакторах, значительно выше, чем у теплоэлектростанций (ТЭС). Это связано с низким коэффициентом полезного действия АЭС – не более 35 %. Две трети тепла, производимого атомным реактором, отводится в окружающую среду.

При работе АЭС с прямоточной системой охлаждения в водоем-охла-



дитель поступает  $50 \text{ м}^3 \cdot \text{сек}$  на 1 Вт (эл.) воды, подогретой на  $10\text{—}12^\circ\text{C}$  (Крышев, Рязанцев, 1993). Таким образом, вокруг любой АЭС возникает зона техногенного разогревания прилегающей местности (термофикация) и существенного изменения микроклимата радиусом, по крайней мере, в несколько километров.

*«Величина тепловых сбросов в гидросферу на АЭС приблизительно в 1.5 раза больше, чем на ТЭС той же электрической мощности. Это связано с тем, что КПД ТЭС выше, чем атомных станций». Из статьи Д.А.Крылова в журнале «Энергия» (1995, с. 21).*

Расчеты показывают (Легасов и др., 1984), что плотность сбрасываемой с теплом энергии от средней АЭС достигает  $1000\text{—}10\,000 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$ , т. е. аналогична воздействию на атмосферу потоков тепла от лесных пожаров, вулканов и пожаров на нефтепромыслах. Ясно, что такие огромные и постоянно действующие источники тепла должны воздействовать и на атмосферу и на гидросферу. Эффекты воздействия АЭС на атмосферу заключаются в образовании мощной облачности, увеличении числа гроз, в том числе с градом и образованием вихрей.

Приведу несколько примеров влияния теплового загрязнения АЭС на водоемы. В результате работы одной из шведских АЭС на побережье Балтийского моря на протяжении многих лет образовывалась огромная полынья, в которой стали зимовать лебеди. В одну из зим во время профилактической остановки АЭС тысячи лебедей оказались в ледовом плену, и сотни из них погибли. Аналогичная ситуация сложилась у АЭС «Ойстер Крик» (штат Нью-Джерси, США) в 1972 г. В теплых водах этой АЭС скапливается на зиму множество рыб. Во время технологической остановки станции в январе 1972 г. температура воды около станции упала с обычных  $15^\circ\text{C}$  до нуля. Это вызвало гибель десятков тысяч зимующих здесь рыб (Yablokov, Ostroumov, 1991).

Другой пример. Калининская АЭС использует систему озер Удомля и Песьво как водоем-охладитель. Зимой испарения от этого озера окутывают близлежащий поселок. Уровень заболевания верхних дыхательных путей здесь повышен (данные телевизионной передачи «Прийти к истоку» программы «Сельский час» 1989 г.). В этой же передаче можно было увидеть рыб без чешуи, каким-то образом выживающих в этом подогретом водоеме.

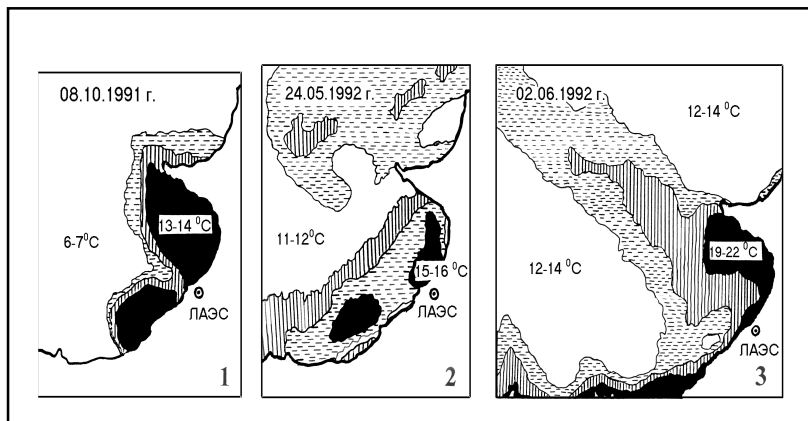
Еще более опасной оказывается ситуация, когда в подогретый водоем-охладитель поступают коммунальные (как в случае Ленинградской АЭС в Сосновом Бору) или сельскохозяйственные стоки (как в озера Удомля и

Песьво у Калининской АЭС). Водоем-охладитель при этом превращается в настоящий микробиологический реактор с интенсивно идущими процессами не только *эвтрофикации* (Гагаринский и др., 1994), но и *токсификации* с малоизученными мутагенными (поражениями наследственного аппарата) последствиями для обитающих здесь организмов.

*«Франция: Компания «Электрисите де Франсе» (EDF) задержала пуск АЭС «Циво-1» (Civaux), первоначально планировавшийся на начало июля, в связи с тем, что в контурах охлаждающей системы были обнаружены амёбы, являющиеся переносчиками редкой формы энцефалита. В случае пуска реактора они могли бы попасть в реку Виенна ...».*

*Из журнала Nucleonics Week (24 June 1999, p.15)*

Ленинградская АЭС ежегодно использует для охлаждения своих четырех реакторов по 1000 Мв каждый около 6 км<sup>3</sup> воды из Копорской губы Финского залива (Zimina, 1996). Это означает, что весь объем этой части Балтийского моря несколько раз в год проходит через систему охладителей АЭС. Соответственно, количество тепла, поступающего в Копорскую губу Финского залива от Ленинградской АЭС, сравнимо с годовым поступлением солнечного тепла. В результате здесь сформировалось огромное тепловое пятно площадью около 20 км<sup>2</sup> (Рис. 11).



**Рис. 11. Тепловое загрязнение Копорской губы Невского залива в результате работы Ленинградской АЭС (по материалам космических снимков, представленных О.В. Бодровым).**

За десятилетие после пуска АЭС зимняя температура Копорской губы у места водозабора АЭС выросла в четыре раза (от 1,5 до 6,0° С). Результатом стало массовое размножение сине-зеленых в прибрежной акватории Копорского залива, утери этим водоемом рекреационного и рыбохозяйственного значения (Сазыкина, 1991).

В результате нагревания водоемов-охладителей АЭС из них увеличивается испарение. В результате испарения воды (1 м<sup>3</sup>·сек на 1 млн. кВт) увеличивается количество осадков, причем не рядом с АЭС, а за сотни километров от места испарения (Куркин, 1989). По другим расчетам, в результате увеличения испарения водоемов, связанных с АЭС региональная интенсивность солнечного освещения может снижаться на 5 % (Бобров, 1999).

В общем, тепловое загрязнение от АЭС является важным фактором, влияющим на окрестные экосистемы. Тепловое загрязнение по масштабам и последствиям, конечно, не сопоставимо с радиационным, но оно также не позволяет назвать АЭС «экологически чистыми» сооружениями.

## **5. 6. Гибель гидробионтов на водозаборах АЭС**

В дополнение к уже перечисленным факторам влияния АЭС на природу нельзя не упомянуть о гибели рыб на водозаборных устройствах охлаждающей системы некоторых АЭС. Молодь рыб и планктон гибнет в большом количестве при прохождении через охлаждающую систему (насосы, конденсаторные трубки, на сбросе). В результате, водоем загрязняется большим количеством мертвой органики.

Средняя численность рыб, погибших в течение года на водозаборных устройствах первой очереди Ленинградской АЭС, составляла 465 млн. экземпляров. Более 500 млн. экземпляров разных видов рыб погибало ежегодно на водозаборах американской АЭС на озере Эри (Рябов, 1990).

\*\*\*

В заключение этой главы приведу расчеты, показывающие, какую радиационную нагрузку получит живая природа при условии, что человек получает считающуюся допустимой современными нормами дозу облучения в 1 мЗв/год от одного из перечисленных в таблице техногенных радионуклидов (табл.21)

С учетом сказанного выше, заверения атомщиков о безопасности современных ядерных технологий являются, мягко говоря, сверхоптимистическими и безответственными.

Таблица. 21

Оценка доз, получаемых живыми организмами от каждого из техногенных радионуклидов, при условии, что человек в тех же местообитаниях получает дозу в  $1 \text{ мЗв/год}$  (по: UNSCEAR, 1996, Tabl. 6)

Радионуклид	Мощность дозы ( $\text{мкГр} \cdot \text{час}^{-1}$ )		
	Растения	Наземные животные	Водные животные
Тритий	5,8	5,8	0,59
Радиоуглерод	18	11	
Фосфор-32	32	28	4,8
Стронций-90	2,0	0,042	67
Цирконий-95	38	2,0	
Технеций-99			3,8
Йод-131	1,2	0,058	
Цезий-137	5,4	3,1	0,72
Плутоний-239	0,023	0,00055	0,49
Америций-241			0,71

Отрицать влияние АЭС на окружающую живую природу сегодня может только человек, не желающий знать факты. Радионуклиды, выброшенные в ходе работы АЭС в биосферу, оказывают разнообразное негативное и, порой уже сейчас заметное, влияние и на живую природу, и на атмосферу. К этому экологическому влиянию добавляется и локальные нарушения экосистем, связанные с выбросами каждой АЭС большого количества тепла.

## ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ АЭС НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Долгое время в радиационных исследованиях при оценке влияния радиации на человека самым распространенным показателем был  $LD_{50}$  (от «Letal Dose») - показатель гибели 50 % организмов под действием облучения. Это отражало главное направление развития атомных технологий в 50-70-е годы – военное. Поскольку, по уровням облучения вызванным АЭС, коэффициент  $LD_{50}$  неприменим, долгое время принималось как само собой разумеющееся, что влияние АЭС на здоровье населения пренебрежимо мало. Сегодня мы знаем, что это не так.

По поводу влияния АЭС и вообще атомных предприятий на состояние здоровья населения ведутся жаркие споры. После публикаций, казалось бы, безупречных доказательств такого опасного влияния всегда находятся авторы, ставящие под сомнение эти выводы. Есть немало обстоятельных публикаций, авторы которых не нашли доказательств негативного влияния АЭС на здоровье окрестного населения (см., например, Enstrom, 1983). Иногда даже в одной и той же книге (Beral et al., 1993) или даже в одной статье (Jablon et al., 1991) приводятся противоречивые данные, и читателю предоставляется выбор той или другой точки зрения.

*«Население, проживающее в районах расположения АЭС и радиохимических комбинатов, получает более высокие дозы, чем население в целом, однако, и в этих случаях дополнительные дозы не превышают нескольких процентов от естественного фона. Например, в 1988—1989 гг. в районе Ленинградской АЭС дополнительная доза облучения населения от газо-аэрозольных выбросов не превосходила 24 мкЗв/год».*

*Из статьи Д.А.Крылова в журнале «Энергия» (1995, с.20).*

В то же время существует большое число исследований, посвященных влиянию на здоровье человека тех или иных радионуклидов (обзоры см. например: Ярмоненко, 1988; Biological effects..., 1999; Combined ..., 2000). Сопоставляя эти данные с данными по концентрациям радионуклидов вокруг АЭС, можно получить какое-то представление о возможном влиянии их на здоровье населения в конкретных условиях.

Один из самых обычных в выбросах АЭС радионуклид цезий-137. Он быстро концентрируется в пищевых цепочках, и, попадая в организм человека, задерживается в мускульных клетках, являясь причиной одного из разновидностей раковых заболеваний – саркомы. Стронций-90 также присут-

ствуется в выбросах большинства АЭС (см. выше гл. 1). Попадая в организм человека, он может замещать кальций в твердых тканях и грудном молоке. Он ведет к развитию рака кости, рака крови (лейкемии), к раку груди.

Один из глобальных радионуклидов - криптон-85, - поглощается тканями тела при дыхании и хорошо растворяется в жировых тканях человека и животного. Известно, что даже малые дозы облучения криптоном-85 могут повысить частоту рака кожи (Sumner, 1993). Особенно опасен он для беременных (Bunyard, 1993).

Концентрации радиоуглерода в биосфере нарастают. Есть расчеты, что ежегодное поступление техногенного радиоуглерода в организм человека с продуктами питания уже превышает его естественное поступление, а годовая доза облучения от этого радионуклида на все тело уже возросла в несколько раз по сравнению с 1975 г. (Рихванов, 1997).

Какой бы ничтожной ни была концентрация плутония вокруг предприятий атомной энергетики, в случае его попадания в организм человека, последствия могут быть самыми тяжелыми: рак крови, костей, легких, печени, уродства у новорожденных (плутоний - не только радиоактивный, но и токсичный элемент).

Среди опасных для человека радионуклидов, распространяющихся вокруг АЭС, - радиоактивный йод (йод-128, йод-131). В экспериментах на млекопитающих йод вызывает нарушение гормонального уровня, летаргию и ожирение (увеличение массы тела). Была высказана гипотеза (Bertell, 1985) о влиянии заметного уровня загрязнения радиоактивным йодом территории США (в результате выбросов АЭС и производства ядерного оружия) на увеличение среднего веса жителей США.

Мало изучены (теоретически, могущие быть весьма опасными) последствия замещения в живых тканях обычного водорода на тритий. Концентрация трития в питьевой воде Екатеринбурга в результате выбросов Белоярской АЭС втрое выше фонового уровня (Пискунов, 1997).

*«Среди людей, работающих на АЭС, или проживающих в прилегающих к ним зонах, даже при строгом соблюдении всех мер радиационной безопасности наблюдаются такие явления, как раннее старение, ослабление зрения, угнетение реактивности иммунной системы, чрезмерная психологическая возбудимость, изменения в составе крови и др. Эти проявления могут быть связаны с дополнительным воздействием аномалий АЭП (атмосферного электрического поля – А.Я.) возникающих в результате радиоактивно-го загрязнения окружающей среды, которое само по себе не вызы-*

*вает наблюдаемых эффектов).*

*Из статьи группы сотрудников Государственного института прикладной экологии «Аномалии электрического поля атмосферы при радиоактивном загрязнении окружающей среды» (Бегун и др., 1996).*

Рассмотрим известные факты о влиянии АЭС, работающих в нормальном режиме, без катастрофических или аварийных выбросов, на состояние здоровья населения для США, Германии, Великобритании и других стран. Сначала данные для американских АЭС, приведенные в широко известной сводке врача-радиолога Розалии Бертелл «No Immediate Danger. Prognosis for a Radioactive Earth» (1985).

### 6.1. Данные по США

Данных по влиянию АЭС на здоровье населения из США, пожалуй, больше, чем из других стран. Это определяется тем, что в США работает около 100 атомных реакторов, существует довольно эффективная статистическая служба, а информация более доступна для независимых исследователей, чем в других странах. Ниже приводятся некоторые из имеющихся свидетельств негативного влияния АЭС на состояние здоровья населения из США.

Врач Дж. Дрейк, много лет живший и практиковавший около американской АЭС «Биг Рок», получил следующие данные. В 1962—1966 гг. младенческая смертность на 1000 живых новорожденных в графстве Чарлеву (три мили к северо-западу от АЭС, которая была пущена в 1962 г.) составила 22.4, а во всем штате Мичиган — 23.0. В 1967—1971 гг. этот показатель в графстве увеличился до 22.6 и упал до 20.7 в штате. За то же время новорожденные с низким средним весом стали встречаться на 21 % чаще в графстве, тогда как во всем штате — чаще только на 1 % (различия статистически достоверны). За те же отрезки времени число случаев рака в графстве увеличилось на 7 случаев на 16000 жителей, а в штате (в пересчете на 16000) — только на 1 случай (различия высоко статистически достоверны). Число случаев лейкемии в эти сроки оставалось в штате в целом таким же, но возросло от 1 до 2,2 на 16 000 человек графства (не достоверно статистически, но тревожно). Число новорожденных с врожденными дефектами уменьшилось за время наблюдения по штату в целом на 12,5 %, а в графстве - только на 8,5 %. Все эти наблюдения Дж. Дрейка были отвергнуты специалистами Комиссии по атомной энергии США как недостаточно достоверные (оказалось невозможным, применяя общепринятые статистические методы, учесть разницу в социо-экономическом ста-

тусе, привычках, возрасте, роде занятий, болезнях, национальности).

Марта Дрейк в работе, выполненной в Мичиганском университете «Анализ смертности населения вокруг АЭС» в 1976 г., постаралась учесть отмеченные недостатки. Она сравнила данные по смертности от рака крови (лейкемии) в 18 графствах (мелких административных единицах) вокруг трех АЭС (по 6 графств вокруг каждой АЭС) с четырьмя контрольными выборками: тремя случайными выборками по 6-ти графствам, где не было АЭС, и с населением США в целом. Население 18 графств вокруг АЭС составило почти миллион человек (959 904), и до пуска АЭС имелся такой же уровень смертности, как и в четырех контрольных группах. Через пять лет после пуска реакторов АЭС обнаружилось статистически высоко достоверные различия по величине смертности от лейкемии населения графств, прилежащих к АЭС, и графств, не имеющих АЭС (а также от средних значений для США). Критический анализ этих материалов показал, что различия в смертности могли быть обусловлены повышенной смертностью среди работников самих АЭС, возможно, получавших существенно большие дозы облучения, чем это официально регистрировалось (Bertell, 1985, с.129—130).

Заведующий лабораторией радиологической физики в университете Питсбурга Э. Стернгласс, изучая статистику смертности вокруг АЭС «Шиппингпорт» (первая коммерческая АЭС США), обнаружил заметное увеличение младенческой смертности. Для изучения этого губернатором Пенсильвании в 1974 г. была создана первая официальная комиссия. Комиссия не смогла ни опровергнуть, ни подтвердить данные проф. Стернгласса, поскольку ни данные статистики смертности, ни данные по выбросу радиоактивности АЭС комиссия не посчитала достаточными для достаточно надежных расчетов.

На основании большого числа данных была обоснована гипотеза о заметном влиянии радиоактивных выбросов от нормально работающих АЭС на возникновение рака груди у жителей, проживающих по направлению преобладающих ветров от АЭС (Sternglass, Gould, 1993).

Взрослые, жившие и работавшие в 1978—1983 гг. в радиусе 16 км вокруг АЭС «Пилгрим» (в районе города Бостон, США), подвергались четырехкратно большему риску заболеть лейкемией, чем жившие дальше от станции (Aubrey et al., 1990; Shulman, 1990). При этом величина риска увеличивалась по мере приближения к АЭС и коррелировала со временем проживания в опасной зоне. Эти данные хорошо сочетаются с тем, что эта АЭС долгое время считалась худшей в США по радиоактивным газо-аэрозольным выбросам. Эти выбросы до 1978 г. определяли



уровень облучения населения, превышающий уровень, установленный Агентством по охране окружающей среды США, но были ниже официальной нормы для персонала (5 мЗв год) Агентства по атомной энергии. После 1978 г. воздушные выбросы этой АЭС сократились, и уровень облучения населения не превышал 0.25 мЗв. По-видимому, как следствие этого, уже в 1983—1986 гг. увеличения заболеваемости лейкемией не было обнаружено. В результате всех этих фактов в штате Массачусетс были введены самые строгие из существовавших до 1990 г. нормы радиационной безопасности — 0.1 мЗв год для населения (Aubrey et al., 1990, Morris et al., 1990).

После публикации этих данных было проведено специальное исследование, чтобы выяснить, почему по данным Национального ракового института США не было обнаружено надежной связи между проживанием вокруг АЭС и уровнем раковых заболеваний (Jablon et al., 1991). Один из возможных ответов достаточно прост: в обзоре Национального ракового института учитывалась только **смертность** от рака, тогда как массачусетские исследователи учитывали, кроме смертности, еще и **заболеваемость** раком.

Не могу не отметить, что это же исследование Национального ракового института (Jablon et al., 1991), на которое часто ссылаются защитники экологической чистоты АЭС, содержит сравнение заболеваемости лейкемией у детей для окрестностей АЭС. И во всех случаях, где были такие данные (четыре из 62 исследованных по смертности), обнаруживается, как видно из табл. 22, заметное увеличение заболевания лейкемией после пуска АЭС (Sternglass, Gould, 1993)!

Мне пришлось в свое время много заниматься популяционной статистикой у млекопитающих (Яблоков, 1966; Yablokov, 1974), и, как эксперт в этой области, должен отметить, что не только два попарных сравнения («Миллстоун» и графа «Всего») дают статистически надежные различия, но статистически достоверна и суммарная тенденция различий между показателями «до» и «после» пуска АЭС в табл. 20.

Таблица 22

**Заболевание детской лейкемией до и через несколько лет после пуска четырех АЭС в США: отношение числа наблюдавшихся случаев заболевания к предполагаемому на основе средних для страны** (Jablon et al., 1991, tabl. 6)

АЭС, штат	До пуска АЭС	После пуска АЭС
Хаддам Нэж, Коннектикут	0.96	0.97
Миллстоун, Коннектикут	1.19	1.55*
Форт Калхун, Небраска	1.94	3.13
Дуэйн Арнольд, Айова	1.04	1.26
<b>Всего</b>	1.13	1.36*

\*Различия между «до» и «после» статистически достоверны ( $p < 0.05$ ).

Не исключено, что именно крупный масштаб исследования Национального ракового института (обобщение данных по более чем 2 700 000 смертей на протяжении 35 лет для 62 АЭС в 399 графствах, как соседних с АЭС, так и удаленных) не позволил выявить сравнительно мелкие территориальные особенности влияния отдельных АЭС, как в описанном выше случае с АЭС «Пилгрим» (Shulman, 1990) или с АЭС «Троян», у г. Портленд, штат Орегон.

Одно из наиболее обстоятельных исследований влияния АЭС на состояние здоровья населения было проведено группой американских исследователей (Р. Бертель, Н. Якобсоном и М. Стогром) по данным медицинской статистики штата Висконсин, США. По уровню смертности грудных детей, родившихся с пониженным (менее 2500 г.) весом, сравнивались две группы графств: первая — графства, расположенные вблизи или с подветренной стороны АЭС; вторая — графства, расположенные далеко от АЭС. В первой группе были районы, подверженные возможному влиянию четырех АЭС в штате Висконсин и трех АЭС, расположенных в соседней Миннесоте. Было учтено влияние городского и сельского медицинского обслуживания, как и влияние других факторов, не связанных со здоровьем. Принимались во внимание различия между родителями в курении и потреблении спиртных напитков. Учитывалась величина выбросов АЭС за исследованный период. Сопоставление всех этих данных позволило установить существование статистически достоверной корреляции между смертностью детей с пониженным весом и проживанием родителей в зоне влияния АЭС (обзор см.: Шеер и др., 1989).

Эти сведения подкрепляются и более обширными данными, полученными Коалицией предупреждения рака США, представившей результаты обследования 268 графств, располагающихся на расстоянии до 80 км вокруг военных атомных производств и 46 гражданских АЭС по уровню смертности от рака груди. Обнаружено существенное увеличение смертности от рака груди в обследованных графствах (10 %) сравнительно со средним по стране (4 %). Вокруг же пяти военных ядерных установок смертность от рака груди возростала до 41 % («Cancer awareness»..., 1994).

«Гринпис» и Женская организация по экологии и развитию (США) в 1994 г. обнародовали результаты эпидемиологического исследования, свидетельствующие о заметном увеличении числа случаев заболевания раком молочной железы в окрестностях одной из АЭС в штате Нью-Йорк (США..., 1994).

Интересны данные и по АЭС «Три - Майл - Айленд». В результате широкомасштабного судебного разбирательства иска пострадавших при

этой, второй в мире по величине после Чернобыля, атомной катастрофе с гражданскими АЭС (1979 г.), исследователи внимательно просмотрели всю доступную медицинскую статистику этой территории (160 тыс. жителей в радиусе 16 км от АЭС). Выбросы АЭС до аварии могли быть причиной увеличения заболеваемости раком различных органов у детей (лейкемией, в частности) в семьях, которые жили в зоне ветров, дуящих от АЭС. Эти же выбросы могли быть причиной увеличения числа случаев не-Ходжкинской лимфомы и рака легких (Hatch et al., 1990). Анализ жалоб населения на тошноту, расстройство пищеварения, раннее облысение, а также на гибель домашних животных, подтвердил это заключение. Было установлено, что далеко не все случаи раков были проанализированы в ранее опубликованных эпидемиологических исследованиях. В результате выяснилось, что жители с подветренной стороны от АЭС страдали от рака крови и легких в 10 раз чаще, чем соседние группы (Warrick, 1997). Видимо, не случайно полный официальный отчет о катастрофе на этой АЭС до сих пор засекречен (Bertell, 1998; Rickover, 1998).

В 1999 г. опубликован анализ показателей детской смертности и числа выкидышей (спонтанных абортов) вокруг АЭС «Салем» в штате Нью Джерси (Cohen, Cohen, 1999). АЭС вступила в строй в 1977 г., и с тех пор во все годы ее работы на территориях, к ней прилегающих, уровень детской смертности и относительное число выкидышей были выше, чем для всего штата. Эти показатели пришли в норму (т.е. резко уменьшились) с 1994 по 1996 гг., когда реакторы АЭС были остановлены или переведены на минимальную мощность.

В апреле 2000 г. были опубликованы результаты обширного эпидемиологического исследования состояния здоровья детей, живущих в окрестностях пяти АЭС США после их закрытия: «Форт Сан Врейн» (Колорадо), «Ля Крос» (Висконсин), «Миллстоун/Хаддам Нэк», «Ранчо Сэко» (Калифорния) и «Троян» (Орегон). В первые два года после закрытия АЭС младенческая смертность в секторе 64 км (40 миль) с подветренной стороны от АЭС упала на 15-20 % по сравнению с предыдущими двумя годами. В четырех графствах, расположенных в направлении преобладающих ветров от АЭС «Ранчо Сэко», в течении семи лет после ее закрытия в 1989 г., заметно уменьшилось число случаев впервые диагностированной лейкемии, раков и смертности от врожденных пороков развития у детей в возрасте до 5 лет. В то же время после пуска этой АЭС в 1974 г. младенческая смертность здесь росла (Cullen, Brown, 2000; Knight, 2000)

*«...Это первое исследование, которое документирует улучшение здоровья после закрытия атомных станций. Оно поддерживает многие другие исследования, показавшие увеличение детских раков вокруг АЭС. Федеральное правительство, разрешая АЭС выбрасывать какое-то количество радиации, говорит, что это количество настолько низкое, что не может повлиять на здоровье. Однако это исследование ставит это утверждение под вопрос...».*  
*Из статьи Дж.Дж. Монгано о влиянии закрытия пяти АЭС США на здоровье населения, опубликованной в журнале «Environmental Epidemiology and Toxicology». Апрель 2000 г.*

В США опубликовано большое число исследований состояния работающих в атомной военной промышленности. Одно из исследований такого рода посвящено здоровью сотрудников одного из атомных центров США — Ок-Риджской Национальной лаборатории (Wing et al., 1991). Оказалось, что некоторые негативные последствия облучения в малых дозах начинают проявляться лишь через 20 лет. На статистическом материале, касающемся более 8 тыс. человек, работающих в атомной промышленности, и анализа данных по более чем 1500 смертным случаям, статистически установлено увеличение смертности от лейкемии, рака разных органов и общей смертности, коррелированное с уровнем облучения (Wing et al., 1991). Сенсацией, занимавшей неоднократно первые полосы ведущих газет в 1999 – 2000 гг., стало официальное признание реальности поражения здоровья малыми дозами облучения в прошлом у работников атомных военных производств (общая сумма компенсаций этого ущерба для нескольких тысяч пострадавших достигла в 2000 г. 5 млрд. долларов!).

Проблема влияния атомной индустрии на здоровье волнует многих в США. Всемирно известный американский врач Бенджамин Спок принял участие как ведущий в документальном фильме «Голос жертв» (1992), 50 минут которого посвящены свидетельствам тех, чье здоровье было необратимо нарушено соседством с атомными установками. Смотреть этот фильм без волнения невозможно...

## **6. 2. Данные по Германии**

Исследованиями Б. Штайна (обзор, см.: Шеер и др., 1989; Hoffman, 1998) была показана статистически достоверная корреляция между повышенным уровнем выбросов радиоактивных «инертных» газов немецкой АЭС «Линген» (Нижняя Саксония) и смертностью от рака детей мо-

ложе 15 лет в 1970—1973 гг. Данных мало для полного статистически надежного сравнения всего ряда. Однако и имеющиеся данные показывают на статистически значимую корреляцию между числом мертворожденных и младенческой смертностью, с одной стороны, и пиковыми выбросами «инертных» радиоактивных газов в 1969-1970 гг. ( $6 \cdot 10^{15}$  Бк) и йода-131 в 1975 г. ( $5 \cdot 10^{10}$  Бк). В эти годы превышение числа раковых заболеваний и смертности детей в первый месяц жизни над ожидаемым было статистически значимым. В случае рака риск оценивался величиной в 6 дополнительных смертных случаев на 1000 детей до 15 лет на дополнительную дозу в 0.57 мЗв для одной группы административных районов, и на дополнительную дозу в 0.33 мЗв — для другой группы районов.

Сходные результаты были получены не так давно в Баварии, когда сопоставили заболеваемость и смертность от раков вокруг всех имеющихся здесь нескольких экспериментальных атомных реакторов (Hoffman, 1998). В 5-ти километровой зоне у реактора «Гарчинг» число случаев острой лейкемии в возрастной группе «мальчики, до 15 лет» статистически достоверно отличалось от среднего. В окрестностях исследовательского реактора «Наухерберг» для той же возрастной группы различия были близки к статистически достоверным (23 случая заболеваний на 91 933 человека около реактора, и 143 случая на 888 817 человек в контрольном регионе,  $p = 0,06$ , что очень близко к различиям, считающимся статистически достоверными).

По просьбе неправительственных организаций города Хекстер, обеспокоенных увеличением числа случаев лейкемии среди детей и подростков в окрестностях АЭС «Вюргассен», М. Демут в 1989 г. провел специальное эпидемиологическое исследование и показал, что увеличение заболеваемости лейкемией детей и подростков вокруг этой АЭС является статистически значимым (табл. 23).

Таблица 23

**Число случаев лейкемии у детей и подростков (0—20 лет) в окрестностях АЭС «Вюргассен» (Германия) за период с 1986 по 1987 г.**  
(Demut, 1989, цит. по: Hoffman, 1998, Table 4)

Расстояние от АЭС, км	Число случаев до 15 лет			Число случаев до 20 лет		
	Фактическое	Ожидаемое	$p^*$	Фактическое	Ожидаемое	$p^*$
0—10	1	1,58	0,79	2	1,99	0,59
10—15	3	1,47	0,18	4	1,86	0,12
15—20	7	3,05	0,036	9	3,90	0,019
20—25	3	4,52	0,83	3	5,76	0,93

\* различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ )

Из данных, приведенных в табл. 23 видно, что превышение числа наблюдаемых случаев лейкемии над ожидаемым статистически достоверно выражено для населения, проживающего на территориях от 15 до 20 километров от АЭС. На первый взгляд, это выглядит странным. Вероятнее всего, это связано с тем, что основная масса выбрасываемых через трубу радиоактивных газо-аэрозолей опускается к поверхности земли на расстоянии нескольких километров от АЭС (см. рис. 1).

Есть данные о необычно высоком уровне заболеваемости детской лейкемией в Нижней Саксонии в окрестностях АЭС «Крюммель» (Hall, 1996, рис. 12).



***Рис. 12. Случаи заболевания лейкемией детей (и одного подростка) в окрестностях АЭС «Крюммель», Нижняя Саксония (по Hoffman, 1998, с изменениями).***

Данные о негативном влиянии АЭС «Крюммель» на население окрестных территорий подтверждают и высоко достоверные статистически ( $p < 0,01$ ) данные по встречаемости аббераций хромосом у взрослых (Табл. 24).

Есть данные по некоторому увеличению числа раковых заболеваний среди детей вокруг двух из трех (впоследствии все были закрыты)

АЭС в бывшей Восточной Германии – АЭС «Розендорф» и АЭС «Райнсберг» (Hoffman, 1998).

Таблица 24

**Встречаемость хромосомных aberrаций в окрестностях  
АЭС «Крюммель» (Heimers et al., 1997)**

	Проанализировано метафаз	Обнаружено дигетриков	Встречаемость дигетриков ( $\times 10^3$ )
Около АЭС	20 391	36	1,77 ± 0,33
В контрольной группе	19 775	9	0,46 ± 0,15

Немецкие данные, как и данные по США, показывают, что во всех случаях, когда была детальная и качественная медицинская статистика за каждый год в группах населения на разном удалении от АЭС и по розе ветров по каким-то показателям обнаруживалась связь уровня выбросов АЭС с какими-то показателями здоровья.

### 6. 3. Данные по другим странам

По другим странам столь обстоятельных и глубоких исследований влияния АЭС на здоровье населения, как в США и Германии, просто не проводилось.

В 1989 г. группой корейских врачей было обнаружено, что 64 % жителей поселка около двух южно-корейских АЭС «Джонг-Кванг» в уезде Чоллам-Ду страдают от заболеваний, которые могут быть связаны с воздействием радиации (Radiation and Health, 1989).

А. Гопалакришнан, бывший председатель индийского государственного Совета по контролю атомной энергии, заявил в интервью Би-Би-Си, что на индийских АЭС уровень загрязнения тритием в 8-9 раз выше, чем в других странах, и это создает серьезные угрозы для здоровья работающих (BBC News..., 2000).

Интересно рассмотреть данные по Великобритании, касающиеся не отдельной АЭС, а целого ядерного центра Селлафилда, неоднократно привлекавшего внимание многих групп исследователей, изучавших влияние радиоактивных выбросов на здоровье. Заболеваемость лейкемией детей в поселке около Селлафилде в 10 раз выше, чем в среднем по стране, и, несомненно, связана с его работой. Это стало известно уже в 1990 г., и официально подтверждено Британским национальным комитетом по радиологии (Chazi, 1993). Впрочем, в этом случае, как и в случае с обнаружением ухудшения здоровья детей в окрестностях Томска-7 (более высокий уровень эритроцитов с микроядрами, изменение формулы крови, нарушение иммунного статуса и многое другое, подробнее см. следующий

раздел, а также: Ильинских и др. 1995; Рихванов, 1996; 1997), невозможно отделить влияние АЭС от влияния других атомных производств, располагающихся рядом.

Интересные результаты могло бы дать исследование здоровья работающих на атомных предприятиях и получающих дозы облучения (если судить по официальной статистике) лишь несколько большие, чем население вокруг АЭС. Такие данные постепенно накапливаются. Анализ медицинской статистики заболевания раком предстательной железы среди работников атомной промышленности Великобритании показал, что 75 % случаев (из 136, отмеченных между 1946 и 1986 гг.), относились к работавшим на тяжеловодных реакторах и связанным с хроническим воздействием радионуклидов хрома-51, железа-59, кобальта-60, цинка-65 и трития. По предположениям группы исследователей Королевского ракового исследовательского фонда, возглавляемой известной специалисткой В. Бирал, наиболее вероятно, что главным поражающим агентом в этом случае был цинк-65 (Radford, 1993).

#### 6. 4. А что в СНГ?

Россия теперь является второй после США мировой ядерной державой (в СССР атомных боеголовок было произведено больше, чем в США) . Казалось бы , у нас должны быть многочисленные данные по влиянию (или отсутствию такового) радиационного загрязнения на население. Но это не так, как по причине многолетней секретности всех радиационных исследований, так и по уровню медицинской статистики. Ни уровень первичных медицинских обследований, ни уровень медицинской статистики, ни уровень ее открытости и доступности не позволяли и не позволяют решить задачу анализа влияния АЭС на здоровье населения. Подчеркну еще раз: **мы не знаем о влиянии российских АЭС на здоровье населения не потому, что такое влияние отсутствует, а потому, что специальных исследований этой проблемы не проводилось.**

Приведу только один пример, касающийся, как многократно утверждалось, «хорошо изученной» с медицинской точки зрения ситуации с радиоактивным поражением населения на Южном Урале. Оказалось, что при общем числе облученных в трех радиационных катастрофах на Южном Урале более чем в 600 тыс. человек, медицинские наблюдения велись и ведутся менее чем за одной десятой их частью (табл. 25).

Напомню, что в СССР всего несколько лет назад, даже если при



обследовании пострадавших и выявлялось лучевое заболевание, врачи не имели права связывать его с радиацией (Ларин, 1994; Ковалевская, 1995, Ярошинская, 1992). Поэтому, несмотря на то, что в зоне влияния АЭС на территории бывшего СССР проживает около 30 млн. человек, а в России – 7-10 млн. (Губарев, 1995; Цыб, 1996), получить достоверные данные по влиянию АЭС на их здоровье практически невозможно. Недавно я попытался получить статистические данные по перинатальной и постнатальной смертности в областях России, Белоруссии и Украины, затетых чернобыльской катастрофой. Полученные данные настолько беспорядочно различались по соседним областям, что эксперты в один голос сказали, что, многие из них просто выдуманы.

Таблица 25

**Характер медицинской радиологической статистики  
на Южном Урале (Косенко, 1994)**

	ПО «Маяк»	Авария 1957 г.	По р. Теча	Авария 1967 г.
<b>Число облученных</b>	14 тыс.	472 тыс.	124 тыс.	41.5 тыс.
<b>Включено в регистр</b>	12 тыс.	12.6 тыс.	28.2 тыс.	Нет

Конечно, в СНГ было проведено большое число исследований влияния радиации на население, прежде всего в районах воздействия атомно-оружейного комплекса (вокруг Семипалатинского и Новоземельского ядерных полигонов, вокруг «МАЯКА» на Южном Урале, «Томска-7» (Северска) и «Красноярска-26» (Железногорска) в Сибири) и, особенно, в зоне Чернобыльского загрязнения. Весь этот большой массив информации делится на две части: к первой относится работы авторов, связанных с системой Средмаш-Минатом (в том числе бывшим Третьим главным управлением Минздрава СССР, - современным федеральным управлением «Медбиоэкстрем»), либо финансируемые этими ведомствами, а ко второй – авторы, материально и организационно независимые от официальной атомной системы.

Результаты работы первой группы авторов могут быть кратко охарактеризованы как *«радиация – теоретически это опасно, но на здоровье населения в основном сказывается радиофобия, а не действительные радиационные эффекты»*. Даже признавая кое какие последствия воздействия радиации на население, они тут же подчеркивают, что это – не особенно страшно (см. бокс).

*«Такие эффекты, как кратковременное угнетение кровотока, легкий ожог кожи и временное снижение потенции мужчины не слишком серьезны, поскольку сравнительно быстро проходят без последствий. Помутнение хрусталиков глаз не влияет на остроту зрения»*

*Проф. И. Кейрим-Маркус, один из теоретиков Минатома в области разработки допустимых дозовых нагрузок для населения (1995).*

Результаты работы второй группы авторов звучат как набат: положение тревожное, и даже опасное, поскольку уже современные уровни и дозы облучения наносят непоправимый вред здоровью населения, и с углублением знаний спектр этих опасностей только расширяется.

Как уже говорилось выше, в России нет данных о влиянии АЭС на здоровье населения, сравнимых по научной проработке с данными из США и Германии. Есть отдельные тревожные наблюдения местных врачей, касающихся Тверской (Калининской) АЭС (см. бокс), Белоярской АЭС, а также Ленинградской АЭС. В отношении последней сообщалось, что после крупной аварии на ЛАЭС в 1979 г., радиоактивные выбросы которой накрыли значительную часть Ленинграда, спустя несколько месяцев в Ленинграде появилось заметно больше новорожденных с синдромом Дауна (Терешкин, 1995).

*«Недалеко (от Калининской АЭС — А.Я.) зимой и летом парит уникальное русское озеро, сделанное местом забора и сброса вод, охлаждающих кожух реактора... Кто же «догадался» охлаждать кожух реактора водой из реликтового водоема, соединенного протоками со всей системой водоемов Средней России? Эти места сделать бы национальным парком, а не местом расположения АЭС....*

*«Статистические исследования» вроде бы ничего особенного в здоровье удельцев не показали. Мой же собственный опыт убедил — у ряда жителей, поступающих оттуда, нарушена иммунная система...*

*... Частое явление в городе и окрестностях — наличие у населения так называемого синдрома вегетативно-сосудистой дистонии. Однако в любом руководстве по ядерной безопасности этот самый синдром фигурирует в числе осложнений длительного контакта с небольшими избыточными дозами радиации Он — не редкость у врачей-рентгенологов, радиологов. «Имеет отношение» и к ядерным станциям...». Из статьи В.Крылова «Пока гром не грянул!» «Советская Россия», 1995, 30 января, с.1,3.*

Недостаток данных по влиянию гражданских АЭС с избытком перекрывается многочисленными данными по последствиям работы т.н. «промышленных» (для производства оружейного плутония) атомных реакторов на ПО «МАЯК» (Южный Урал), на Сибирском химическом комбинате (СХК, Томская обл.).

В результате действия ПО «МАЯК» у окрестного населения обнаружено (обзор см.: Барановский, Самсонюк, 1999):

- хроническая лучевая болезнь;
- лучевые реакции со стороны отдельных органов и систем»;
- увеличение заболеваемости лейкозами;
- увеличение показателя общей смертности;
- увеличение детской смертности от инфекционных болезней (связано с потерей иммунитета в результате облучения);
- рост злокачественных новообразований (раков пищевода, кишечника, печени и желчного пузыря).

Показателен в этой связи официальный перечень заболеваний «... возникновение или обострение которых обусловлено воздействием радиации...» (см. бокс).

**Из официального «Перечня заболеваний, возникновение или обострение которых обусловлено воздействием радиации...»**

*«острая и хроническая лучевая болезнь, лучевая катаракта, местное лучевое поражение, миелоидный лейкоз, эритромиелодисплазия, апластическая анемия, злокачественные лимфомы, миеломная болезнь, рак щитовидной железы, рак трахеи, бронхов, легкого, рак пищевода, рак желудка, рак толстой кишки, рак мочевого пузыря, рак молочной железы, рак яичников и яичка, рак почки, рак кожи, злокачественные опухоли костей и суставных хрящей, злокачественная опухоль мозга, другие онкологические заболевания».*

*Из приложения «Перечень заболеваний, возникновение или обострение которых обусловлено воздействием радиации вследствие аварии 1957 года на территории производственного объединения «Маяк» и сбросов радиоактивных отходов в реку Теча» к совместному приказу Министерства здравоохранения РФ и Министерства труда и социальной защиты РФ от 12 января 2000 г. № 6/9 («Российская газета», 16 февраля 2000 г.).*

Среди заболеваний, обнаруженных в зоне действия СХК (обзоры см. Рихванов, 1996, Ильинских, 1995):

- рост злокачественных новообразований;
- рост заболеваний крови и кровеносных органов;

- увеличение психических заболеваний;
- увеличение заболеваний мочевыделительной системы;
- поражения щитовидной железы;
- увеличение частоты врожденных аномалий развития;
- поражения желудочно-кишечного тракта у детей;
- снижение физической работоспособности;
- высокий процент патологии беременности;
- снижения памяти и утомляемость у детей.

Дополнительным и важным материалом для оценки воздействия атомно-энергетических технологий на здоровье человека являются данные по состоянию здоровья работающих на АЭС. Российские атомщики утверждают, что состояние здоровья у них лучше, чем в других отраслях, а по продолжительности жизни они чуть ли не рекордсмены в России. Для этого были некоторые основания, совсем не связанные с благотворным влиянием радиации на организм человека. Просто в закрытых административных территориальных образованиях (ЗАТО), какими являлись все «атомные» города, да и полузакрытых городах около АЭС (Курчатов, Десногорск, Заречный, Сосновый Бор и др.), жизнь в советское время была налажена значительно лучше и по снабжению полноценными продуктами питания, и по медицинскому обслуживанию, чем на остальной территории СССР. Да и обживали эти ЗАТО преимущественно молодые и здоровые люди. Тем более показательно, что 1 млн. 670 тыс. человек «персонала» предприятий ядерно-топливного цикла (включая АЭС) и проживающего в районах их расположения «населения Минатома» (так в Приложении к Постановлению Правительства РФ № 191 от 22.02.97) оказывается, по многим показателям хуже, чем остального населения России (см. бокс).

#### **Состояние здоровья работников и «населения Минатома» России**

- частота болезней костно-мышечной системы в 1997 г. у работающих в контакте с ионизирующим излучением была вдвое выше, чем в среднем по России;
- в 1997 г. заболеваний крови у профессионалов Минатома был более чем в 3 раза выше, чем в среднем для России;
- с 1992 г. по 1997 г. онкозаболеваемость «населения Минатома» выросла в три раза больше, чем в среднем по России. Резко увеличилось число больных, впервые выявленных в запущенной

*стадии; - первичная заболеваемость психическими расстройствами в атомной отрасли России в 1997 г. превысила средний уровень по стране;*

- *распространенность врожденных аномалий среди детей, проживающих в ЗАТО в 1996г., вдвое выше, чем в среднем по России;*
- *для 80 % персонала особо опасных производств Минатома характерен вторичный иммунодефицит;*
- *в структуре заболеваемости профессионалов Минатома первое место занимают болезни, вызванные радиоактивными веществами (45,1 %).*

*По материалам Научного совета Минатома «Состояние здоровья работников отрасли» («Атомпресса», № 3 (394), январь 1999, с. 3-4) и Федеральной целевой программе «Медико-санитарное обеспечение современного этапа развития ядерно-энергетического комплекса и других особо опасных производств в условиях ракетного, ядерного и химического разоружения, а также конверсии и разработки новых технологий в 1997-1998 годах» ( Пост. Правит. РФ №191 от 22.02.97)*

\*\*\*

*«При сопоставимых абсолютных величинах заболеваемости населения с общероссийскими показателями настораживает темп прироста, в том числе злокачественных новообразований, выходов на инвалидность. Не снижается профессиональная заболеваемость, в том числе за счет радиационной патологии».*

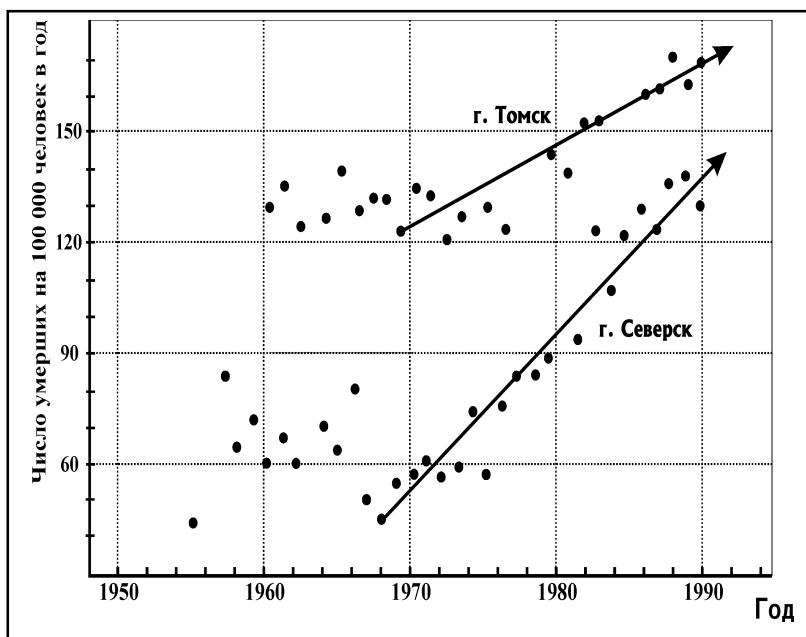
*Из Решения Научно-технического Совета №1 Минатома по вопросу «Состояние здоровья персонала предприятий Минатома России и населения, проживающего в районах их размещения», октябрь 1994 г.*

\*\*\*

*«...Продолжается общий рост заболеваемости за счет болезней органов дыхания, сердечно-сосудистых заболеваний, злокачественных новообразований, неврологической патологии, болезней органов пищеварения и костно-мышечной системы» (с. 21).*

*Из справки Федерального управления медико-биологических и экстремальных проблем при Минздраве РФ («Информационно-справочные материалы к заседанию Правительства по вопросу «Ядерная и радиационная безопасность России», Москва, 2000, Минатом России, 65 с.).*

На рис. 13 видно, как значительно быстрее, чем в Томске увеличивается смертность от злокачественных новообразований в г. Северске («Томск-7»), где на СХК работают промышленные атомные реакторы. Через несколько лет эти два города, долгое время значительно различавшиеся по этому показателю, должны будут сравняться.



**Рис. 13.** Линия регрессии динамического ряда смертности от суммы злокачественных новообразований в г. Северске и областном центре г. Томске (данные СХК).

К заявлениям о том, что АЭС являются чуть ли не самыми безопасными техническими сооружениями, мировое общественное мнение довольно долго – до конца 60-х годов, – относилось с доверием, поскольку они делались государственными служащими и мощными научными организациями. Голоса отдельных специалистов несогласных с этим (например, Э. Стюарт, Р. Бертель, Дж. Гофмана, Дж. Стернгласса в США, К. Басби в Великобритании, Н.П. Дубинина, В.А. Шевченко, Е.Б. Бурлаковой в России) были глахом вопиющего в пустыне. Сейчас ситуация изменилась и таких исследователей появились десятки в разных странах. У них много меньше средств для проведения исследований, им труднее публиковать свои результаты. Атомщикам и связанным с ними специалистам в России и за рубежом все труднее не замечать сотен научных публикаций, вскрывающих самое масштабное научное заблуждение XX века – представления об «экологической

чистоте» и безопасности для населения атомной энергетики.

Итак, несмотря на то, что буквально к каждому проведенному исследованию, показывающему негативное влияние АЭС на здоровье населения, можно предъявить те или иные методические претензии, сумма всех имеющихся данных позволяет утверждать: любые, даже работающие безаварийно, АЭС оказываются опасными для здоровья населения. Не замечать всей этой лавинообразно накапливающейся горы фактов о смертельной опасности, исходящей даже от нормально работающих (в пределах «разрешенных» выбросов) предприятий атомной индустрии – значит отрицать очевидное.

### **6. 5. Риск для человека от искусственной радиации?**

То, что данные о влиянии АЭС на состояние здоровья были получены разными исследователями, в разные годы, в разных странах, заставляет отнестись к их совокупности с доверием. Некоторые исследователи, не обнаружившие ухудшения показателей здоровья населения вокруг АЭС, сами подчеркивают ненадежность своих выводов. Одна из причин - трудность учета результатов миграции населения (Enstrom, 1983). Современное население подвижно. С одной стороны, невозможно проследить за изменением здоровья лиц, покинувших зону влияния конкретной АЭС, с другой – в этой зоне оказываются недавно приехавшие люди, у которых последствия воздействия АЭС проявятся лишь через несколько лет.

Для выяснения возможного риска для здоровья населения, связанного с работой АЭС, можно использовать данные по влиянию малых доз радиации на организм человека. На территориях, давно загрязненных выбросами атомных производств, в местах ядерно-радиационных аварий и катастроф можно наблюдать то влияние радиации, для проявления которых вокруг АЭС потребуются многие десятилетия. Часть этих данных была приведена выше. Многочисленные такие данные более подробно рассматриваются в брошюрах настоящей серии, посвященных влиянию малых доз радиации (Бурлакова, Яблоков, 2000), и Чернобыльской катастрофе (Яблоков, 2000). Перечислю еще раз некоторые из поражений организма человека, которые связаны с влиянием атомной энергетики:

- поражения генетического аппарата;
- раковые заболевания;
- нарушения эмбрионального развития;
- врожденные пороки развития;
- спонтанные аборт и мертворождения;

- преждевременные роды;
- пониженный вес новорожденных;
- младенческая смертность (в том числе смертность первого дня и первой недели после родов, внезапная младенческая смертность);
- нарушения умственного развития;
- временная стерильность;
- катаракта (помутнение хрусталика);
- иммунодепрессия и иммунодефицит;
- увеличение частоты и тяжести заболеваний сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем;
- изменения эндокринного статуса;
- нарушения менструальной функции;
- преждевременное старение и сокращение продолжительности жизни.

Все эти характеристики здоровья - исходя из чувствительности человека к действию малых доз радиации, с одной стороны, и уровня радиационного загрязнения работающими АЭС, с другой, - в той или иной степени должны проявляться и у населения вокруг любой работающей несколько лет АЭС. Отсутствие данных о повышенной заболеваемости и смертности населения вокруг какой-то конкретной АЭС вовсе не означает отсутствия таких эффектов.

Возникает вопрос: почему до сих пор детальные эпидемиологические исследования вокруг всех АЭС не стали обязательными? Ответ прост: те, кто могут (и должны!) проводить такие исследования (атомная индустрия и правительство) боятся, не хотят делать это. Те же, кто хочет провести такие исследования (независимые исследователи и общественность) не обладают достаточными средствами. Чтобы получить полные медико-статистические (эпидемиологические) данные о влиянии АЭС на здоровье населения, нужно потратить более 4 млн. долларов на предварительное исследование населения той территории, где будет построена АЭС, и затем тратить каждые пять лет еще по 1.5 млн. долларов на сравнительные исследования (Bertell, 1985). А все исследование должно охватывать период не менее чем в 25-30 лет. Именно через такое время проявляются индуцированные радиацией раковые заболевания, четче проявляются демографические тенденции, и могут появиться данные о влиянии радиации хотя бы в одном следующем поколении.

Приведу два факта, подтверждающих существование определенного «заговора молчания» в отношении выяснения истинных последствий работы атомной индустрии. Первый касается специального соглашения между Всемирной организацией здравоохранения ООН (ВОЗ) и Международ-



ным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ), принятого еще в 1959 году. Согласно этому соглашению ВОЗ не должна публиковать результаты своих работ без консультаций с МАГАТЭ (см. бокс)!

*«... если одна из сторон (то есть ни ВОЗ, ни МАГАТЭ – прим. А.Я.) настоящего соглашения инициирует программу или активность в области, в которой другая сторона имеет значительный интерес, она должна согласовать с другой стороной свою точку зрения...»*

*Из документа ВОЗ ResWHA 12-40 от 28 мая 1959 г., ст. 1(3) (перевод мой - А.Я.)*

Другая группа фактов касается ограничения распространения информации и прямого засекречивания данных по опасным последствиям деятельности АЭС. На просторах СНГ факты такого рода стали хорошо известны после Чернобыльской катастрофы. Оказывается, аналогично положение и в США: здесь после катастрофы на АЭС «Три-Майл-Айленд» в 1979 г. были скрыты истинные масштабы и причины происшедшего. И хотя президент США был настроен открыть для общества все эти данные, влиятельные и в США апологеты атомной индустрии настояли на засекречивании этих данных (Bertell, 1998; Rickover, 1998 ).

Все приведенные выше в этой главе данные о влиянии АЭС на здоровье населения, конечно же, отрицательно характеризуют экологическую чистоту АЭС с качественной точки зрения. В современной прикладной экологии экологическая чистота какой-либо технологии может определяться не только качественно, но и количественно - величиной риска, выраженного вероятностью заболевания или гибели отдельного человека, связанного с этой технологией.

Сторонники достаточной безопасности современной атомной индустрии издавна приводят сравнительные цифры риска гибели от разных причин, где радиация находится далеко не на первом месте. Рассмотрим эти данные – сначала официально принятые, а потом – реально существующие.

### **6.5.1. Официальные риски ядерных технологий**

Риски ядерных технологий были рассчитаны много лет назад, исходя из очень ограниченного (теперь мы можем сказать - сознательно ограниченного ВОЗ и МАГАТЭ, см. выше) перечня последствий воздействия радиации. В табл. 26 и табл. 27 приведены такие расчеты для Великобритании (близкие данные есть для США, Германии, Франции, но никогда, по видимому, не рассчитывались специально для условий России).

По данным табл. 26 риск гибели от радиоактивного загрязнения, сравнительно с другими общераспространенными причинами, якобы, очень мал.

Таблица 26

**Средний ежегодный риск погибнуть от разных причин в Великобритании (Sumner et al., 1991)**

Причина смерти	Умирает в год
Выкуривание 10 сигарет в день	1 из 200 или $500 \cdot 10^{-5}$
По естественным причинам, в во зросте 40 лет	1 из 700 или $140 \cdot 10^{-5}$
Автокатастрофы	1 из 10 000 или $10 \cdot 10^{-5}$
Несчастные случаи дома	1 из 10 000 или $10 \cdot 10^{-5}$
Несчастные случаи на работе	1 из 50 000 или $2 \cdot 10^{-3}$
Облучение дозой 0.3 мЗв	1 из 70 000 или $1.4 \cdot 10^{-5}$
По всем причинам	1 из 80 или $1200 \cdot 10^{-5}$

По данным табл. 27, у английских шахтеров риск гибели от несчастных случаев на производстве в 4 раза выше, чем у работников атомной промышленности погибнуть от дополнительного смертельного рака, вызванного производственным облучением. К сожалению, приведенные с равенения в табл. 25 и 26 не включают большинство рисков для здоровья, связанных с атомной промышленностью (см. далее).

Таблица 27

**Средний ежегодный риск гибели на разных промышленных предприятиях в Великобритании (по Sumner et al., 1991 с дополнениями)**

Промышленность	Риск погибнуть, в год
Морское рыболовство	1 из 500 или $200 \cdot 10^{-5}$
Угольные шахты	1 из 7000 или $14 \cdot 10^{-5}$
Строительство	1 из 10 000 или $10 \cdot 10^{-5}$
Металлургия	1 из 17 000 или $10 \cdot 10^{-5}$
Атомная индустрия*	1 из 27 000 или $3.7 \cdot 10^{-5}$
Текстильная	1 из 28 000 или $3.6 \cdot 10^{-5}$
Пищевая	1 из 45 000 или $2.2 \cdot 10^{-5}$
Деревообрабатывающая	1 из 100 000 или $1 \cdot 10^{-5}$
Швейная	1 из 300 000 или $0.3 \cdot 10^{-5}$

\* Смерть от рака, вызванного облучением 1,1 мЗв в год (такова была официально принятая доза дополнительного облучения у работников британской атомной промышленности в 80-е годы).

Есть важное различие в рисках, приведенных выше. Погибший шахтер или строитель - это всегда трагедия, но трагедия, ограниченная во времени страданиями и горем для близких погибшего. Однако погибший от радиационного облучения работник атомной промышленности может передать своим потомкам тяжелые генетические заболевания, и страдания продолжатся в чреде поколений..

И еще одно замечание. Вы можете не курить и тем самым избежать риска смерти от рака легкого. Вы можете не ездить на машине или выб-

рать работу с самым малым уровнем риска (см. табл. 21) - и это ваш выбор. Но вы не можете избежать воздействия произведенных в атомных реакторах радионуклидов, которые распространяются глобально и теперь невидимо присутствует везде.

### 6.5.2. Реальные риски ядерных технологий

Каждый год дает возможность более глубокого понимания опасных и порой смертельных последствий производства атомной энергии для здоровья населения.

Оказалось, что многие типы ущерба здоровью от антропогенной радиации (скорее всего не ошибочно, а сознательно) не включаются в официальные оценки атомных рисков. Так, официальные критерии не включают, по крайней мере, ущерба, нанесенного ядерной индустрией в случаях (Bertell, 1999) :

- выкидышей (спонтанных абортов) и мертворождений, вызванных радиацией;
- смертности новорожденных в первый день и неонатальной смертности ( в течении первого месяца), вызванных радиацией;
- появления врожденных уродств, вызванных радиацией;
- не смертельного рака, вызванного радиацией;
- рака, вызванного иными, чем радиация канцерогенами, но ускоренно развившегося под действием радиации;
- вызванных радиацией не раковых заболеваний, в том числе - поражений иммунной системы;
- «незначительных» генетических изменений, - малых мутаций, - которые включают, в том числе возникновение генетической предрасположенности к раку грудной железы и сердечно-сосудистым заболеваниям;
- рака, который возникает по причине облучения, но может возникнуть и по другой причине (например, раку легких у курильщика).

Уже поэтому ясно, что **методология оценки риска в атомной индустрии ошибочна**: она исключает целый ряд важных, в том числе отмеченные выше, ущербов здоровью населения. Эта методология ошибочна и потому (Иванов, Хамьянов, 1998; Беляев и др., 1996), что включает сравнение риска нормальной ежедневной активности (с предсказуемыми локально ограниченными последствиями, такими как, например, сломанная нога или потеря зрения), с риском от редких и необычных событий (например, ядерная катастрофа типа Чернобыльской) с широкими и непредсказуемыми последствиями. В результате применения такой методологии

расчета риска собирание марок может оказаться более опасным занятием, чем развитие ядерной индустрии.

Принятая методология оценка радиационного риска ошибочна и потому, что фактически игнорирует данные по индивидуальной изменчивости величины радиочувствительности (Яблоков, 1997). Данные по индивидуальной изменчивости радиочувствительности ряда млекопитающих (как и чернобыльских ликвидаторов) показывают, что нормативное регулирование, основанное на средней радиочувствительности не может защитить по крайней мере 30-40 % людей (обзор см.: Яблоков, 1998).

Многokrатно заниженным оказывается официально признаваемый генетический ущерб от антропогенной радиации. Произвольное деление на «значительные» и «незначительные» генетические повреждения (официально учитываются только «значительные») ведет к многократному занижению реального генетического ущерба (Шевченко, 1998, Гофман, 1994, Sternglass, Gould, 1993).

Слабое облучение эмбриона в период 5 – 15 недели беременности может нарушить нормальное развитие головного мозга и повлиять на развитие умственных способностей (обзор см.: Ярмоненко, 1988). Комитет по изучению биологического эффекта ионизирующей радиации Национальной академии наук США ( BEIR) считает, что последствия для умственного развития ребенка могут наступить начиная с облучения в матке дозой 100 мЗв . Чернобыльские данные показали, что уровень облучения, при котором наступают поражения мозга в ходе эмбрионального развития человека, многократно ниже. Около 50 % новорожденных на российских, украинских и белорусских территориях с радиоактивным загрязнением выше 5 кюри /км<sup>2</sup> (эквивалентно дозе около 7 мЗв/год) обнаруживают замедление умственного развития (обзор см. Яблоков, 1997, гл. 4). Было обнаружено также, что еще меньшие дозы при внутриутробном облучении приводят к снижению успеваемости по математике и языкам (Ofstedal, 1989 , цит. по: Ушаков, Карпов, 1997). Это именно замедление умственного развития с пока неясными последствиям, а не поражение нервной системы, при котором ребенок не узнает окружающих, не может сам есть и т.п., и которое относится по принятой медицинской классификации к «врожденным уродствам».

Перечисленные выше существенные пробелы и недостатки в официально принятых определениях радиационного риска стали возможными во многом благодаря упомянутому выше (см. бокс в разделе 6.5) соглашению 1959 г. между МАГАТЭ и ВОЗ . На практике это соглашение означает полный контроль со стороны МАГАТЭ проектов ВОЗ по изучению действия радиации и

создает основу для успешного лоббирования интересов атомной индустрии .

Все сказанное выше в этом разделе говорит о **принципиальной неадекватности официальной методологии определения радиационных рисков и последствий воздействия радиации на здоровье: она ведет к многократному занижению уровня воздействия АЭС.**

### **6.5.3. Возможный масштаб жертв атомной индустрии**

В 1999 г. появились новые шокирующие оценки реальных возможных потерь от антропогенных радионуклидов, сделанные выдающимся американским радиобиологом Розалией Бертелл (Bertell, 1999). Взяв за основу данные по радиационным рискам, принятые Научным комитетом ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), Р. Бертелл распространила эти риски на не учитываемые официально, но многократно доказанные факторы нарушения здоровья атомной индустрией (см. выше).

В 1991 г. Международная комиссия по радиационной защите (ICRP/МКРЗ) определила риск смерти от радиационно-индуцированного рака на уровне 7 - 11 случаев на 1 млн. облученных дозой 100 чел.Зв. Исходя из этого, но с учетом не смертельных раков, вызванных радиацией, по уточненным (сравнительно с публикацией 1999г.) расчетам Р. Бертелл, общее число людей пораженных раками в результате антропогенного радиационного облучения (испытаний ядерного оружия и развития атомной энергетики) составило к началу XXI века 357 млн. человек (Bertell, in litt, , 2000). Из этого числа 240 млн. человек погибли от смертельных раков, а 117 млн. были поражены не смертельными раками. С учетом рака кожи (меланомы), уровень поражения увеличивается вдвое, и достигает 714 млн. человек.

Известно, что в результате облучения после взрыва США водородной бомбы на атолле Бикини в 1954 г. женщины атолла Ронгелап потеряли способность рожать на протяжении пяти лет. Когда их фертильность восстановилась, стали частыми спонтанные аборт и рождения мертвых детей. Статистически заметное увеличение мертворождений, неонатальной (0-28 дней) смертности, и смертности первого дня жизни во всех странах, где велась достаточно точная статистика, показывает высокую корреляцию с уровнями цезия-137 и стронция-90 возникших от испытаний ядерного оружия в атмосфере до начала 70-х годов. Такие данные были впервые проанализированы для США (Whyte, 1992), а затем и для других стран (Busby, 1995; Bramhall, 1996). Чернобыльская статистика также показывает рост спонтанных абортов и мертворождений на всех загрязненных территориях (обзор см. Яблоков, 1997).

По экспертной оценке, радиационно-индуцированные потери эмбрионов и плодов в результате спонтанных аборт и мертворождений, достигают порядка 500 млн. от ядерных испытаний и несколько миллионов – от радиационных катастроф типа Чернобыля, Кыштыма (на ПО «МАЯК») на Урале, «Три-Майл-Айленда» в США. Экспертная оценка потерь новорожденных (смертность первого дня и неонатальная смертность) в результате ядерных атмосферных испытаний 1956-1972 гг. составляет порядка 5 – 10 млн. человек, а в результате последующих радиационных катастроф – еще 3 - 4 млн. человек. Только в Индии, сравнительно слабо пораженной чернобыльскими радиоактивными выбросами, в 1986 – 1988 гг. от них могло погибнуть около одного миллиона плодов и новорожденных (Ghoshal, 2000). Для других регионов такие расчеты пока не производились, но если суммировать и экстраполировать отрывочные данные по отдельным странам (Швеция, Греция и др. - обзор см. Яблоков, 1997 гл. 4), то окажется что в Западной Европе таких жертв должно быть сотни тысяч.

От атомной индустрии к началу XXI века, по оценкам Р. Бертелл, генетически пострадало не менее 223 млн. человек (Bertell, in litt., 2000). При этом надо учесть, что эти генетические изменения могут передаваться из поколения в поколение. В результате генетический груз в популяциях человека может достигнуть через несколько поколений катастрофических величин.

Известно, что радиация вызывает более 25 крупных врожденных уродств (слепота, глухота, деформации черепа, скелета, половых органов, кожного покрова, замедление роста и развития, и т.п.). Расчеты Р. Бертелл, основанные на частоте возникновения этих уродств под влиянием радиации, показывают, что антропогенная радиация могла быть причиной возникновения 587 млн. таких уродств к началу XXI века.

**Обобщение приведенных выше расчетов по масштабам радиационного поражения населения планеты в XX веке в результате развития атомной индустрии дает следующую общую картину (Bertell, 1999; Bertell, in litt , 2000):**

- общее число жертв от производства атомного электричества – **21 млн. человек;**
- общее число жертв от катастроф с гражданскими атомными реакторами – **15 млн. человек;**
- общее число жертв от использования радиации в медицине – **4 млн. человек.**

К этим жертвам надо добавить миллионы спонтанных абортов, мертворожденных; новорожденных, погибших в первые четыре недели после родов, а также людей с замедленным умственным развитием, возникшим

в результате облучения. Надо добавить и десятки миллионов постаревших ранее естественного срока в результате воздействия малых доз радиации.

\*\*\*

В заключение этой главы подчеркну еще раз: **наши современные знания не охватывают всего спектра влияния техногенной радиации на природу и человека.** Что известно, например, о влиянии резких колебаний атмосферного электрического поля, возникающих вокруг любой АЭС под газо-аэрозольной струей ее выбросов (см. выше гл. 4)? А ведь характеристики этих аномалий электрического поля находятся как раз в области максимальной чувствительности сердечно-сосудистой системы человеческого организма к воздействию электромагнитных полей. А что известно о последствиях для здоровья населения генерации низкочастотных электромагнитных полей в биологически значимом диапазоне при любом радиоактивном распаде (Марков, Станко, 1992)? Однако и без этих явных пробелов нашего знания, уже имеющиеся данные заставляют считать атомную индустрию наиболее рискованной из всех известных технологий, и, вероятно, главным депрессивным демографическим фактором второй половины XX века.

#### **ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ**

***тем, кто живет в 100-километровой кольцевой зоне АЭС:***

*Иметь в доме радиометр/дозиметр и не забывать проверять радиоактивность всех «даров природы» (грибов, ягод, дичи, рыбы из местных водоемов), а также молока ;*

*При ветрах скоростью 5 и более м/сек со стороны АЭС закрывать окна и форточки, и стараться не находится на улице;*

*Не попадать под дождь, если ветер дует со стороны АЭС;*

*Иметь в домашней аптечке таблетки с соединениями йода;*

*При потреблении молочных продуктов как можно меньше использовать местное цельное молоко;*

*Использовать питьевую воду из артезианских источников;*

*Посылать на анализ радиоактивности выпадающие зубы (особенно молочные зубы детей);*

*Объединяться с другими обеспокоенными гражданами и требовать от администрации АЭС, подразделений санэпиднадзора, Росгидромета и Министерства природных ресурсов налаживания автоматизированного мониторинга радиационной обстановки вокруг АЭС.*

## ГЛАВА 7. СРАВНЕНИЕ «ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ» ТЕПЛОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

У защитников экологической чистоты АЭС стало чуть ли ни дежурным аргументом сравнивать их по величине опасных выбросов с угольными. При этом выдвигаются следующие аргументы:

- широко распространенная угольная энергетика дает не меньший (и даже большей) радиационный эффект, чем атомная;
- общее количество выбросов и разных (в том числе – канцерогенных) отходов в угольной энергетике больше, чем в атомной;
- атомная энергетика способствует сокращению выброса парниковых газов, и тем самым является эффективным средством борьбы с антропогенным изменением климата;

Последовательно рассмотрим эти три аргумента, имея в виду, что влияние атомной энергетики на здоровье (которое в сотни раз выше заниженных официальных оценок), уже было рассмотрено выше.

### 7.1. О радиационном эффекте угольной энергетики

Из часто приводимых атомщиками данных получается, что уровень радиоактивного загрязнения в окрестностях угольных станций даже выше, чем вокруг АЭС. По данным Научного Комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН, коллективные дозы облучения населения при производстве электроэнергии различными способами (на 1 Вт (эл)·год) составляют (Крылов, 1995):

- |   |                    |
|---|--------------------|
| • угольная энергетика                       | <i>4.0 челЗв;</i>  |
| • атомная энергетика                        | <i>3.0 челЗв;</i>  |
| • энергетика на торфе и геотермальных водах | <i>2.0 челЗв;</i>  |
| • на нефти                                  | <i>0.5 челЗв;</i>  |
| • на газе                                   | <i>0.03 челЗв.</i> |

Из этих цифр следует, что традиционная угольная энергетика, в среднем, дает несколько большую коллективную дозу облучения населения, чем атомная, а газовая и нефтяная - во много раз меньше, чем та и другая.

Комментируя эти цифры, надо отметить четыре момента. Во-первых, «угольные» и «атомные» радионуклиды представляют собой изотопы различных атомов. Если первые, накапливаясь в золе, претерпевают естественный радиоактивный распад с образованием дочерних продуктов, то вто-



рые представляют собой, в основном, продукты деления ядер урана или плутония, т.е. ядерного топлива, а также продукты нейтронной активации конструкционных материалов, совместно с соответствующими дочерними продуктами. При сжигании угля не происходит атомных превращений и никакие новые, не встречающиеся до того в природе, радионуклиды не образуются. **Угольные станции, в отличие от АЭС, не нарушают радиационный баланс биосферы.**

Во-вторых, **радионуклиды, определяющие естественную радиоактивность углей (торий, уран, калий) не обладают такими опасными для живого свойствами**, какими, например, обладают радиоактивный йод (накапливающийся в щитовидной железе), стронций-90 (замещающий в скелете кальций), или весьма радиотоксичный плутоний. Живое приспособлено к их присутствию в биосфере в ходе сотен миллионов лет эволюции планеты. В отличие от этого, многие радионуклиды, возникающие на АЭС, как, например, плутоний и технеций, являются совершенно чуждыми для живого.

В-третьих, при установке фильтров на угольных ТЭС выбросы радиоизотопов и, соответственно, облучение от угольных электростанций, можно существенно снизить. Это значительно труднее - если возможно вообще, - сделать в отношении многих радионуклидов, образующихся на АЭС. Природная радиоактивность некоторых углей может достигать 150 Бк/кг, как в углях некоторых шахт Кузбасса (Крылов, 1995). Но вместо того, чтобы на этом основании обвинять всю угольную промышленность в антиэкологичности, можно либо перестать использовать эти высокордиоактивные угли для сжигания в топках электростанций, либо поставить соответствующие фильтры

В-четвертых, реальные уровни облучения от АЭС могут быть весьма высокими и достигать, например, для реакторов ВВЭР-1000 13 челЗв, а реакторов типа РБМК-1000 — даже 48 челЗв (Крылов, 1995).

\*\*\*

Итак, уровень радиационного загрязнения около угольной электростанции может быть таким же, как у АЭС, но влияние его на биосферу и человека будет менее значительным. Кроме того, угольные электростанции не увеличивают количества радиоактивных веществ в биосфере Земли, как делают это АЭС.

## 7.2. Сравнение величины выбросов угольной и атомной энергетики

На ГВт выработанной электроэнергии в угольной энергетике выбрасывается до 100 000 т химических веществ, а в атомной только 10 тонн (Бабаев и др., 1964; цит. по Крышев, 1991). Но эти выброшенные атомной энергетикой 10 тонн натворят по всему миру на протяжении жизни десятков последующих поколений в миллионы раз больше неприятностей для живой природы и человека.

*«Вообще сравнение по опасности загрязнений ТЭС и АЭС, если быть точным, далеко не в пользу АЭС... Это связано с тем, что такие радионуклиды, как стронций-90, цезий-137, йод-131, являются химическими аналогами кальция, калия и обыкновенного йода, т. е. элементами, входящими в состав тела человека, животных и растений... Аналог кальция — стронций-90 идет на построение костей, аналог калия — цезий-137 распределяется во всем организме, а йод-131 концентрируется в щитовидной железе. Особенно пагубно действует стронций-90 на детей, у которых идет формирование скелета, и, следовательно, больше усвоение кальция. Стронций-90 имеет период полураспада 28 лет, т. е. приобретенная радиоактивность скелета будет действовать всю жизнь, облучая костный мозг, приводя к раку крови и генетическим последствиям. Что касается теперь действия естественных радионуклидов, то здесь имеет место совершенно иная картина. Это связано с тем, что естественные радионуклиды могут попасть в организм только при вдыхании воздуха, содержащего летучую золу или обыкновенную земляную пыль. Через растительную и животную пищу они не попадают, так как не концентрируются в растениях... Обратная ситуация имеет место с опасными нуклидами ядерной энергетики стронцием-90, цезием-137... В некоторых сельскохозяйственных растениях концентрация этих радионуклидов превышает их концентрацию в зараженной почве в 70—100 раз... масштабная угольная энергетика при наличии современной очистки от летящей золы совершенно безопасна в радиационном отношении... энергетика на ископаемых видах топлива может быть вполне чистой (выделено мной - А.Я.). Это является лишь вопросом выделения на очистку отходящих газов от золы, окиси серы, окислов азота и других примесей необходимых средств, которые, по оценкам, значительно скромнее, чем затраты на предотвраще-*

ние радиоактивных загрязнений от атомных станций и всего ядерного цикла.

*Кроме возможного катастрофического радиационного воздействия, ядерная энергетика при «нормальной работе» подвергает население непрерывному облучению малыми дозами... всеми АЭС мира ... создается облучение населения Земли, средняя индивидуальная доза которого равна одному миллибэру в год, что в сто раз меньше дозы от естественного радиационного фона. Рост полной мощности всех АЭС мира ... увеличит дозу до 150 миллибэр. Доза облучения человека за поколение (30 лет) станет 4.5 бэра. ... Успокаивая население, обычно указывают, что за счет рентгенодиагностики каждый человек за те же 30 лет получает дозу в среднем 4.5 бэра, поэтому ничего страшного, если к этому столько же добавит ядерная энергетика. Такой ход рассуждений демонстрирует часто практикуемое искажение истины с помощью средних статистических данных. В рассматриваемом случае известно, что для детей и беременных женщин рентгенодиагностика ввиду ее онкологической и генетической опасности, как правило, не применяется, в то время как от АЭС определенную дозу они получают неизбежно.*

*Физик, член-корреспондент Российской академии наук В.С.Троицкий, Научно-исследовательский радиофизический институт (цит. по: Дьяченко и др., 1996, сс. 700 — 701).*

Сравнение тепловой («огневой») и атомной энергетики будет некорректным, если не учитывать весь топливный цикл – от добычи горючего до захоронения отходов. Атомная энергетика – это не только АЭС, но и:

- урановые рудники;
- заводы по обогащению урана;
- заводы по изготовлению ядерного топлива;
- транспортировка радиоактивных продуктов по стране;
- хранилища отработавшего ядерного топлива (ОЯТ);
- временные и постоянные хранилища РАО, возникающих в ходе ремонтных и эксплуатационных работ;
- отработавшие АЭС, которые надо выводить из эксплуатации;
- заводы по переработке ОЯТ;
- могильники для вечного хранения РАО на протяжении тысяч лет.

Некоторые из перечисленных выше звеньев ядерно-топливного цикла более подробно рассматриваются в других брошюрах настоящей серии. Поэтому здесь я ограничусь лишь краткими комментариями.

Для добычи 1 т. урана надо добыть до 110 тыс. тонн горных пород (на 1 т угля – всего 3 т.) т. е. отходов на этой стадии в 35 тыс. раз больше у АЭС, чем на угольных электростанциях. (Мосинец и др., 1987). Уже сейчас в отвалах на урановых производствах в Германии, Средней Азии, Африке, Австралии, Забайкалье находятся сотни миллионов тонн отходов.

Добыча и обогащение урановой руды опасно и тем, что в атмосферу при этом выделяется большое количество радона-222 и его альфа-илючающих дочерних продуктов (вызывают рак легких). Из отвалов в грунтовые воды попадает уран, который хотя и не такой опасный элемент, как, например, плутоний, но тоже обладает радиотоксичностью. Проблемы уранового загрязнения остро встали везде, где была и продолжится масштабная добыча урана - и в Австралии, в США в бассейне реки Колорадо, и в России в Забайкалье.

В США в городе Гранд Джанкшн урановые отходы широко использовались в строительстве дорог и зданий в 50-60-е годы, когда не подозревали об их потенциальной опасности (хороший пример неполноты наших знаний в каждый момент времени). Наконец, эти отвалы урановых рудников являются источником загрязненной ураном пыли, которая может разноситься далеко вокруг. Поэтому одно только влияние хвостохранилищ уранового производства на радиационное загрязнение окружающей среды соизмеримо с воздействием самих АЭС.

В самых совершенных атомных реакторах выгорает всего от 3 до 4 % ядерного топлива, а это означает что 96-97 % топлива идут в отходы (такого удельного количества отходов нет ни в какой другой отрасли промышленности).

Конечно же, традиционные угольные станции (и весь их топливно-энергетический цикл, начиная с добычи угля), не являются экологически чистыми производствами. Они загрязняют окружающую среду выбросами тяжелых металлов, канцерогенных веществ (летучая зола, сернистый газ, органические канцерогены, включая бенз-а-пирен) и даже радионуклидов (см. выше). Их выбросы ведут также к появлению кислотных дождей, парниковых газов и к повышению заболеваемости и смертности населения, оказавшегося в сфере их влияния. В табл. 28 приведены данные сравнения влияния работающих электростанций (без учета всего топливного цикла!) на латентную (скрытую) смертность населения.

Конечно, традиционные угольные ТЭЦ – очень экологически грязные сооружения, и от них надо отказываться. Но **сравнение, приведенное в табл. 27, не корректно**. Оно сделано не с реально действующими, а с некими идеально работающими АЭС, которых не бывает. У реальных

АЭС всегда есть какие-то нештатные радиоактивные выбросы, время от времени на них обязательно происходят аварии и инциденты. Кроме того, такое сравнение должно включать и воздействие всех образующихся в ходе эксплуатации АЭС «вечных» и глобальных радиоактивных выбросов (см. главу 3), образование и переработку ОЯТ, и вывод АЭС из эксплуатации. Из материалов, приведенных в предыдущих главах, ясно, что пока никто не в состоянии привести такие данные в полном объеме. Ясно и то, что **данные по смертности и заболеваемости, связанной с АЭС, приводимые атомщиками, занижены в сотни раз.** Никакие ТЭС не способны вызвать те 36 миллионов жертв, которые, похоже, уже собрала атомная индустрия (см. выше).

Таблица 28

Латентная смертность населения (число смертей на 1 Вт выработанной энергии в год) вокруг электростанций разных типов (Крылов, 1992)

Тип электростанции	Смертность	Примечания
АЭС	0.0007—0.17	США, СНГ
Традиционные угольные станции	1.9—44	СНГ
	4.9—73.7	США
Угольные станции с кипящим слоем	1.23—23.2	США
Газовые станции	0.09—6.5	США, СНГ
Газовые станции с парогазовыми турбинами	0.01—0.28	США

Наконец, учтем, что оценки влияния «огневых» электростанций на здоровье населения, приводимые в литературе, различаются иногда на два порядка. Например, есть оценки влияния угольной ТЭС в 0,077 смертей на 1 Вт-год и влияния АЭС в 0,385 смертей на 1 Вт-год (Крылов, 1992).

С учетом всех «экстерналий» – предшествующей деятельности по добыче и производству топлива, и вытекающих последствий, - сравнение АЭС с угольными оказывается не в пользу первых. С учетом влияния на здоровье даже не всего топливного цикла (от добычи урана до работы АЭС, но без захоронения РАО) ущерб здоровью (с учетом влияния глобальных и вечных радионуклидов на период 100 тыс. лет) в четыре раза выше для швейцарских АЭС сравнительно с угольными электростанциями (Frischknecht et al., 2000). Но даже если бы это было и не так, то нельзя говорить об «экологической чистоте» атомной энергетике на том основании, что угольные ТЭС являются экологически грязными.

### 7.3. АЭС - средство борьбы с изменением климата?

В последние годы сторонники АЭС настаивают на их строительстве, ссылаясь на отсутствие углекислого газа в их выбросах. Накопление углекислого газа в атмосфере, как известно, ведет к возникновению парникового эффекта и опасному изменению климата Земли. Но и эта аргументация на поверку оказывается недостаточно убедительной.

Даже если бы были построены все те АЭС, которые планировались 20 лет назад, то и тогда заметного снижения выброса углекислого газа в мире не произошло бы. Для этого надо было бы построить пять тысяч (!) АЭС (Kronich, 1999). Это никогда даже в самые радужные планы атомщиков мира не входило. Поэтому чисто пропагандистским и далеким от действительности является утверждение атомщиков: *«Единственным и реальным средством предотвращения угрозы катастрофического потепления является расширение сети АЭС, которые не потребляют кислорода и практически ничего не выбрасывают в атмосферу... Этот тезис... является одним из основных аргументов в работе с населением»* (выделено мною - А.Я.) *информационных центров предприятий атомно-энергетического комплекса»* («Атомпресса». № 12, 2000, с.4).

Для снижения выбросов парниковых газов при производстве электроэнергии существует много более дешевых способов, чем производство «атомного» электричества. Так, например, в Великобритании был проведен специальный анализ сравнительной стоимости затрат на снижение выбросов углекислого газа (рис. 14).

Как видно из этого сравнения, предотвращение выбросов 1 т углекислого газа с помощью строительства АЭС будет стоить к 2005 г. в Великобритании 30 фунтов стерлингов и явится менее выгодным вложением капитала, чем 15 других возможных технологий (Greenpeace Summary, 1994). При повышении эффективности использования бытовых электроприборов, переходе на другое топливо и в шести других вариантах снижения выбросов углекислого газа обществом будет получена существенная прибыль.

Это исследование Гринпис получило недавно подтверждение со стороны Королевской комиссии по загрязнению окружающей среды. Эта комиссия подсчитала (IAEA..., 2000), что для сокращения до требуемой Киотским протоколом величины выбросов парниковых газов с помощью АЭС в Великобритании надо построить 46 новых АЭС. С учетом возможных выплат «углеродного кредита» (в соответствии с Киотским протоколом разрабатывается механизм материального поощрения предприятий в каждой отрасли индустрии, сокращающих выбросы углекислого газа) британские АЭС, как не производящие углекислого газа предприятия, могли

бы получать за счет такого карбонового кредита по 0,2 пенса за кВт\*час. Но это составило бы только 10 % суммы, которой не хватает британским АЭС, чтобы стать конкурентоспособными с ТЭС (Kemp, 1999).

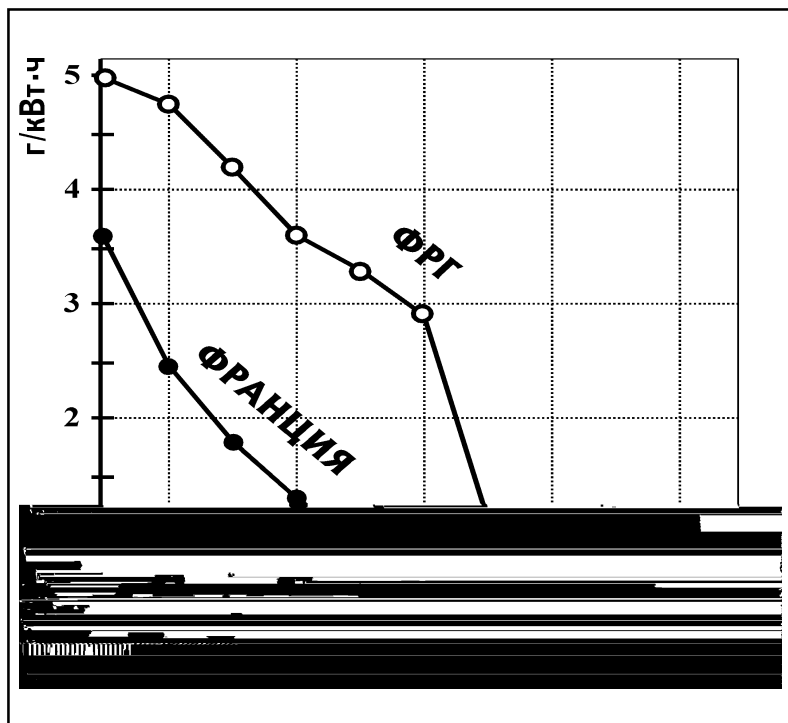
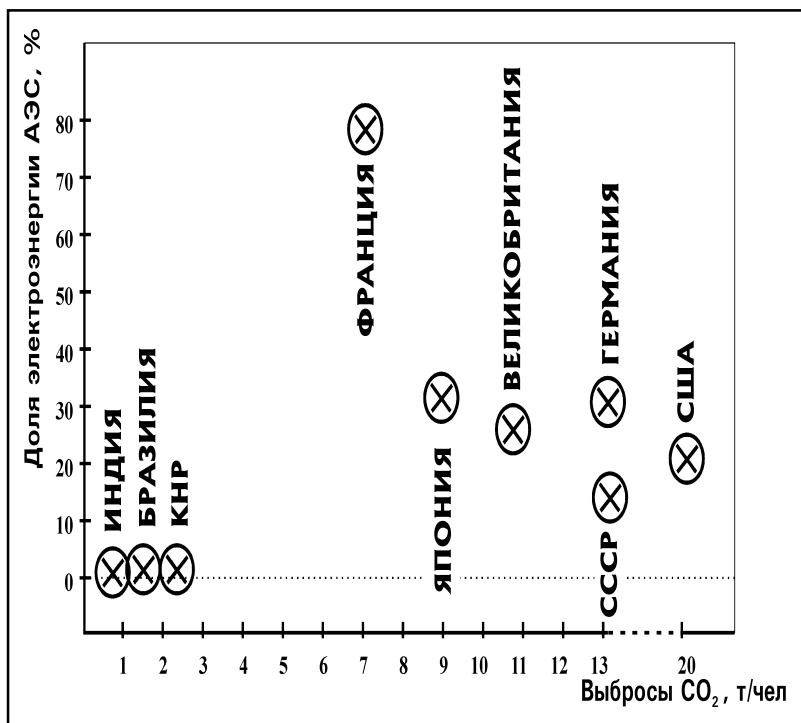


Рис. 14. Возможные варианты снижения к 2005 г. выбросов углекислого газа в Великобритании (по: Greenpeace Summary, 1994).

Во Франции АЭС производят, как известно, около 77 % электроэнергии. Казалось бы, это обстоятельство должно определить исключительную экологическую чистоту французской энергетики. Однако в расчете на единицу произведенного электричества французская энергетика, начиная с 1989 г., оказывается экологически «грязнее» немецкой, где доля АЭС вдвое ниже, чем во Франции (рис. 15). На этом рисунке приведены данные только до 1991 г., но с тех французская энергетика не стала чище германской.



*Рис. 15. Удельные выбросы оксидов серы от производства электроэнергии во Франции и ФРГ с 1982 по 1991 гг. (no: Krause et al., 1994).*

Такое положение объясняется тем, что многие западноевропейские страны с начала 80-х годов интенсивно внедряли на своих тепловых станциях современные технологии очистки топлива и выбросов от соединений серы. У Франции на это не было денег, так как все основные инвестиции шли в атомную энергетику. В результате выбросы существующих французских тепловых электростанций много выше(!), чем в других западноевропейских странах (Krause et al., 1994).

В целом по миру (рис. 16) выбросы углекислого газа в странах, где доля АЭС в производстве электроэнергии очень велика, была в начале 90-х гг. не ниже, а даже выше, чем в странах, где АЭС давали лишь сравнительно небольшую часть электроэнергии (Nuclear Energy, 199, p.337).



Если бы российское правительство вдруг «экологически прозрело» и поставило цель резко уменьшить влияние России на глобальный парниковый эффект, то специалисты немедленно бы перечислили целый ряд многократно более эффективных с точки зрения «затрата-эффект» мероприятий при производстве электроэнергии, чем строительство АЭС. Замена угля природным газом даст многократно большее сокращение выбросов углекислого газа. Еще больший эффект можно получить, применив газовые турбины для комбинированного тепло- и электроснабжения (Башмаков и др., 1993). Кроме того, масштабные лесопосадки, приведение в порядок наших нефте- и, особенно, газопроводов, и прекращение сжигания миллиардов кубометров попутного газа на нефтяных промыслах - все это может многократно сильнее, чем строительство АЭС, сократить выброс парниковых газов. В результате утечек из газопроводов в России выделяется, видимо, столько парниковых газов, сколько их выделяют все вместе взятые ТЭС России, СНГ и Западной Европы.

*«...ядерную энергетику только по недомыслию или при сознательном искажении фактов можно называть «экологически чистой». К тому же факты, связанные с ядерной энергетикой до настоящего времени остаются скрытыми от широкой общественности в части реального воздействия этой крупной отрасли промышленности на окружающую среду и здоровье населения»*

*Из учебного пособия для ВУЗов «Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать?» под редакцией Председателя Государственного комитета по охране окружающей среды Российской Федерации проф. В.И.Данилова-Данильяна (1997, с.166).*

В Германии противники решения о постепенном закрытии всех АЭС и отказе от производства «атомного» электричества (такое решение было принято правительством страны в 1999 г.) утверждали, что закрытие АЭС повлечет за собой дополнительный выброс парниковых газов, и нарушит выполнение международных обязательства Германии, принятых по Киотскому протоколу по сокращению выбросов углекислого газа. Специальный анализ этой проблемы, сделанный германским отделением Всемирного Фонда дикой природы (WWF-Germany), показал беспочвенность таких опасений: в Германии есть достаточно резервов для выполнения требований Киотского протокола без участия атомной энергетики (Singer, 1999).

Напомню еще раз, что даже если сами АЭС не выбрасывают «классических» парниковых газов, эти газы поступают в атмосферу от деятельности предприятий по добыче урановой руды, ее обогащению, транспортировке, производству топливных таблеток, ТВЭЛов и т.д. Сейчас кончается

период добычи богатой урановой руды, и для пополнения запасов урана в ближайшие 20-30 лет предстоит переходить на менее богатые месторождения. Это потребует в свою очередь дополнительных усилий на обогащение уранового концентрата. Эксперты известной своими глубокими аналитическими материалами международной экологической организации «Друзья земли» («Friends of Earth») подсчитали, что при этом выбросы парниковых газов атомной индустрией должны возрасти многократно (Mortimer, 1989).

*«...Исследование «Друзей Земли» показало, что АЭС должна проработать в среднем 18 лет, прежде чем начнет производить дополнительную энергию. Все это время она работает, покрывая расходы ископаемого топлива, использованного на строительство реактора и добычу урана, переработку и обогащение урановой руды, и производство топливных элементов. В эти 18 лет работы не включены затраты энергии, необходимые на транспортировку и хранение образовавшихся радиоактивных отходов и разборку АЭС после завершения ее эксплуатации...».*

*Из статьи Элен Кэлдикотт (Caldicott, 1997), президента-основателя организации «Врачи за социальную ответственность», автора широко известной в англоязычных странах книги «Ядерное безумие» (1994).*

При оценке деятельности АЭС для сохранения климата нельзя не вспомнить о влиянии выбросов криптона-85 на изменение электропроводности атмосферы (см. главу 4), и, по всей вероятности, связанное с этим заметное увеличение числа особо опасных атмосферных явлений (тайфунов, смерчей, циклонов) в последнее десятилетие. Добавлю, что «инертные» радиоактивные газо-аэрозоли, выбрасываемые АЭС, могут играть роль парниковых газов. **Не исключено, что объективные расчеты могут показать, что АЭС не спасают, а ухудшают климат.**

Таким образом, рассмотрение всех аргументов защитников «чистоты» АЭС сравнительно с тепловыми (и угольными, в частности) электростанциями, приводит к выводу об их неубедительности, или даже ошибочности.

\*\*\*

В заключение этой главы напомним, что есть еще одно экологически важное различие между АЭС и тепловыми электростанциями: АЭС выбрасывает в окружающую среду на 60 % больше тепла, чем тепловая электростанция аналогичной мощности. В некоторых случаях этот тепловой

фактор оказывается существенным для окружающей среды и экосистем (см. выше главу 5).

**Атомная энергопромышленность оказывается не чище, а экологически грязнее тепловой энергоиндустрии потому, что:**

- атомная энергетика производит в тысячи раз больше отходов на стадии добычи топлива;
- практически все твердые отходы ТЭС можно утилизировать в хозяйстве (Berg, Push, 1996), в отличие от твердых радиоактивных отходов АЭС (и всего ядерно-топливного цикла), безопасность хранения которых до сих пор не обеспечена;
- газо-аэрозольные выбросы ТЭС многократно менее опасны, чем газо-аэрозольные выбросы АЭС;
- с учетом всего ядерно-топливного цикла облучение населения, связанное с ТЭС меньше (а с учетом изотопного состава выбросов – и много безопаснее);
- тепловое загрязнение от АЭС в полтора раза больше, чем от ТЭС такой же мощности.

\*\*\*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиоактивное загрязнение, как показано в главах 1 и 2, неизбежно сопровождает все звенья атомной энергетики: добычу и переработку урана, производство топлива для АЭС, работу АЭС даже в штатном режиме, хранение и регенерацию отработавшего ядерного топлива. «Инертные» радиоактивные газы, в огромном количестве выбрасываемые каждой АЭС, для биосферы оказываются совсем не инертными. Угрожает нормальному функционированию живых организмов и радиоактивный водород (третий), распространяющийся с грунтовыми и подземными водами на много километров вокруг каждой АЭС.

*Каждый год открывает какие-то новые опасности, связанные с атомной индустрией. Вот открытия только конца 1999 г. - начала 2000 г.:*

*выяснилось, что растворимость диоксида плутония ( $PuO_2$ ) в воде значительно более высокая, чем считалось ранее (Lewis, 2000), и это требует нового ужесточения технологий обраще-*

ний с этим веществом;

· выяснилось, что цезий – 137 из Чернобыльских выпадений сохраняется в экосистемах в активном виде значительно (в 100 раз!) более длительный срок, чем предполагалось (Smith et al., 2000);

· подтвердились опасения относительно более значительного токсического воздействия урана, чем считалось ранее (Gulf War..., 1999).

*Какие новые подобные открытия ждут нас впереди?*

Одним из уроков в изучении влияния того или иного фактора в экологической политике стал принцип предосторожности: *«отсутствие полной научной определенности в выяснении особенностей воздействия какого-либо фактора не служит основанием для задержки с принятием мер по предотвращению возможного воздействия»*. Этот принцип принимается как руководство к действию все большим числом международных соглашений, начиная с Бергенской министерской декларации 1990 г.

Современная наука не может предвидеть все последствия попадания в биосферу «глобальных» (радиоуглерод, криптон-85 и др.) и «вечных» радионуклидов (плутоний, нептуний, радиоiod и др.), образовавшихся в реакторах АЭС (см. главу 4). Несмотря на то, что опасное влияние выбросов АЭС пока недостаточно изучено, научная методология и печальный опыт Человечества требуют исходить из того, что (учитывая неполноту нашего знания) это влияние будет более неблагоприятным, чем это представляется сегодня.

Уже сейчас ясно, что постоянно растущий уровень облучения, вызываемый атомной энергетикой, оказывается не таким уж и безобидным (см. главы 5 и 6). Официальные данные по влиянию атомной энергетики на человека многократно занижают последствия деятельности атомной индустрии. По оценкам независимых от атомной индустрии экспертов, с учетом только известных влияний на здоровье населения, атомная энергетика уже собрала в XX веке страшную «дань» в виде 36 млн. жертв. «Экологически чистая» атомная энергетика поставила под угрозу жизнь и здоровье сотен миллионов людей грядущих поколений.

Может ли атомная энергетика стать экологически чистой? В ближайшие десятилетия - нет. Не может современная атомная энергетика перестать выбрасывать в биосферу огромное число радиоактивных газо-аэрозолей, производить жидкие и твердые радиоактивные отходы, опасно наращивая радиоактивность всей биосферы. Атомщики

обещают достичь «радиационного баланса» (то есть выбрасывать в биосферу столько же радионуклидов, сколько уничтожать) не раньше, чем через... 200 (!!!) лет, да и то при условии строительства многих новых атомных реакторов-бридеров, в которых можно было бы трансмутировать («сжигать») долгоживущие радионуклиды (Адамов, 1998). С такой перспективой никак нельзя согласиться.

Даже современные ограниченные знания о последствиях воздействия ядерных источников энергоснабжения на природу и человека не только не позволяют считать атомную энергетику «экологически чистой», но и заставляют определить ее как **самую экологически грязную из когда либо существовавших технологий.**

За более чем 40 лет существования атомной энергетики всеобъемлющих исследований влияния АЭС на живую природу и человека не проведено. Это говорит о том, что атомщики опасаются проведения подобных исследований.

\*\*\*

## Литература

- Адамов Е. О. (Ред.). 1998.. Белая книга ядерной энергетики М., ГУП НИКИЭТ, 1998.
- Алексахин Р.М., Корнеев Н.А. (Ред.). 1992. Сельскохозяйственная радиоэкология. М., «Экология», 400 с.
- Алексеев В.В., Рустамов Н.А. 1997. Энергетика и экология. «Экология и жизнь», № 2, сс. 41 –46.
- Алешко С.Ф. 1996. Влияние невысоких доз радиации на белки сыворотки молока. Десять лет после чернобыльской катастрофы: (Научные аспекты проблемы): Тез. докл. науч. конф. Минск, с.10.
- Атомными станциями России выработано более 120 млрд. квт\*ч электроэнергии в 1999 г. 2000. Бюлл. ЦОИПАЭ , №2, сс. 5 –6.
- Бадяев В.В. и др. 1990. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС. М.: Энергоатомиздат, 224 с.
- Барановский С.И., Самсонок В.Н. (Ред.). 1999. Радиационное наследие холодной войны. М., Российский Зеленый крест, 375 с.
- Башмаков И.А., Бурлакова Е.Б., Грицевич Е.Г., и др. 1993. Заключение на работу: Концепция развития атомной энергетики в Российской Федерации. Январь, Рукопись. М., 26 с.
- Бегун Э.Я., Дмитриев Е.С., Иванов А.Б., Марков Г.П. 1996. Аномалии электрического поля атмосферы при радиоактивном загрязнении окружающей среды. В кн.: Рихванов Л.П. (Ред.) Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы международной конференции, посвященной столетию со дня открытия явления радиоактивности и столетию Томского политехнического университета, 22 – 24 мая 1996 г., Томск, Изд. ТПУ, сс. 469 - 470.

**Беляев С.Т. 1996.** Оценка экологического риска в связи с радиоактивным загрязнением природной среды Российской Федерации. Заключительный научно-технический отчет о НИР № %! Сб.

**Блинова Л.Д. 1991.** Радиоэкологические исследования в районе Ленинградской АЭС. В кн.: Крышев И.И. (Ред.). Радиоактивность районов АЭС. М., ИПАЭ им. И.В. Курчатова, 126 с.

**Блинова Л., Недбаевская Н. 1995.** Ленинградская АЭС: Радиоэкологический мониторинг. НИМБ, № 2—3. сс. 24—30.

**Бобров А.Л. 1999.** Эколого-экономическая устойчивость регионов России. М., Изд-во «Наука», 94 с.

**Булатов В. 1999.** Жидкие радиоактивные отходы в России: проблема без конца. Энергетика и безопасность, №10, сс. 1-7.

**Василенко И.Я., Лягинская А.М., Осипов В.А. 1997.** Третий Съезд по радиационным исследованиям, Москва, 14 – 17 октября 1997 г. Тез. Докл., Пушкино, том 1, с. 430 – 431.

**Васильев А.Г. (Ред.). 1997.** Итоги эколого-генетического анализа отдаленных последствий Тощкого взрыва. В сб.: «Эколого-генетический анализ отдаленных последствий Тощкого ядерного взрыва в Оренбургской области в 1954 г. (факты, модели, гипотезы). Екатеринбург, Изд-во «Екатеринбург», 192 с.

**Волкова З.В. 1997.** Влияние тепловых сбросов Калининской атомной электростанции на термическую структуру вод и состояние озер Песьво и Удомля. Водные ресурсы, том 24, № 6, сс. 703 – 710.

**Воронцов А.М., Гусев С.А., Королев А.М. 1993.** Хроматографический анализ в молекулярной радиоэкологии: Определение низкоэнергетических радионуклидов. СПб. НИЦ эколог. безопасности РАН. СПб., 13 с.

**Гаврилин Ю.И., Горбатенко С.А., Маргулис У.Я. и др. 1993.** Основы радиационной безопасности. М.: ИздАТ, с. 109 с.

**Гагаринский А.Ю., Головин И.С., Игнатьев В.В. и др. 1994.** Ядерно-энергетический комплекс бывшего Союза. Аналитический обзор. М.: Ядерное о-во, 106 с.

**Гилева Э.А., Нохрин Д.Ю., Любашевский Н.М. 1995.** Индикация отдаленных генетических последствий радиоактивного загрязнения среды с помощью грызунов. Генетика, №12. сс. 57—64.

**Гилева Э.А., Любашевский Н.М., Стариченко В.М. и др. 1996.** Наследуемая хромосомная нестабильность у обыкновенной полевки (*Microtus arvalis*) из района Кыштымской ядерной аварии — факт или гипотеза? // Там же. Т. 32, №1. С.114—119.

**Голотюк С. 1995.** На орбите мусорить не трудно. Убирать значительно трудней. «Сегодня», №199. 19 октября, с.9.

**Голубов Б.Н., Яблоков А.В. 2000.** Миф о безопасности и эффективности мирных ядерных взрывов (в печати).

**Государственный доклад 1995.** «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1995 г. « М.: Минприроды. 457 с.

**Гофман Дж. 1994.** Рак, вызываемый облучением в малых дозах: независимый анализ проблемы. Пер. с англ. Социально-экологический союз, М., т.т. 1-2, 469 с.

**Грейб Р. 1994.** Эффект Петко: Влияние малых доз радиации на людей, животных и деревья. Пер. с англ. М.: Изд. Международного движения «Невада-Семипалатинск». 263 с.

**Губарев В. 1995.** Академик Ильин: Политики хотят забыть о черновильской катастрофе. «Сегодня», 24 февраля, с. 9.

**Данилов-Данильян В.И. (Ред.). 1997.** Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать? Учебное пособие для ВУЗов. М., 267 с.

**Демин С.Н. 2000.** Тритиевая проблема - гигиенические аспекты. В сб.: «Тритий – это опасно. Населению просто о сложном». Челябинск, Центр поддержки гражданских инициатив, сс. 41-48.

**Дьяченко А.А., Грабовой И.Д., Ильин Л.Н. 1996.** Чернобыль: Катастрофа. Подвиг. Уроки и выводы: К 10 - летию катастрофы. М.: «Интер-Весь», 784 с.

**Егоров Н.Н., Кудрявцев Е.Г., Никипелов Б.В. и др. 1994.** Регенерация и локализация радиоактивных отходов ядерного топливного цикла. Атом. энергия. Т. 74, вып. 4, сс. 307—313.

**Ежегодник, 1991.** Радиационная обстановка на территории СССР в 1990 г. Обнинск, Госгидромет СССР, 1991. 215 с.

**Ежегодник, 1991.** Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1991 г. Обнинск, Росгидромет, 1992. 339 с.

**Ежегодник, 1994.** Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1993 г. Обнинск, Росгидромет, 1994. 398 с.

**Ежегодник, 1995.** Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1994 г. Обнинск, Росгидромет, 1995. 349 с.

**Ежегодник, 1996.** Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1996 г. СПб, Гидрометеиздат, 1998, 168 с.

**Ежегодник. 1998.** Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1996 г. СПб, Гидрометеиздат, 1998, 300 с.

**Емельяненко В. 1996.** Авария — еще одна загадка. «Моск. Новости», №16, с.17.

**Емельяненко А., Попов В. 1992.** Атом без грифа «секретно»: Точки зрения. Документальные штрихи к портрету ядерного комплекса СНГ и России. М., 137 с.

**Ершов Ю.И. 1994.** Загрязнение России плутонием. В кн.: Плутоний в России: Экология, экономика, политика: (Независимый анализ), М., сс. 98—120.

**Жураковская Г.П., Петин В.Г. 1987.** Влияние мощности дозы на синергизм комбинированного действия ионизирующего излучения и гипертермии. Радиобиология т.27, сс. 487-492.

**Зайцев Ю.А. 2000.** Тритий в системе радиационной безопасности. В кн.: «Тритий – это опасно. Населению просто о сложном». Челябинск, Центр поддержки гражданских инициатив, сс. 58 – 64.

**Захаров В.М. 1981.** Асимметрия морфологических структур животных как показатель незначительных изменений состояния среды. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л.: Гидрометеиздат, Т.4, сс. 59—66.

**Зверева Г.Н. 1991.** Радиационная обстановка в районе Нововоронежской АЭС (1970-1989). В кн.: Крышев И.И. (Ред.). Радиоактивность районов АЭС. М., РНЦ «Курчатовский Ин-т», сс. 38-40, табл. 3.1-3.8.

**Иванов Е.А., Хамьянов Л.П. 1998.** Допустимая вероятность и масштаб тяжелой аварии на АЭС. Атомная энергия, т. 64, вып. 2, сс. 107-113

**Ильенко А.И., Исаев С.И., Рябцев И.А. 1974.** Радиочувствительность некоторых видов мелких млекопитающих и возможность адаптации популяций грызунов к искусственному загрязнению биогеоценоза стронцием-90. Радиобиология, том 14, сс. 5 – 18.

**Ильин Л.А., Филов В.А. (Ред.). 1990.** Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. Справочное издание. Л., «Химия», 464 с.

**Ильинских Н.Н., Адам А.М., Новицкий В.В., Ильинский Е.Н., Ильин С.Ю., Кудрявцев Д.П. 1995.** Мутагенные последствия радиационного загрязнения Сибири. Томск: Изд-во СГМУ, 253 с.

**Казанцев Ю.А., Казанцева Г.А., Вохменцева Т.М. и др. 1992.** Радиационная обстановка на территории Уральского региона в 1992 г.: Ежегодник. Екатеринбург: Госкомгидромет, 42 с.

**Карпов В. 1994.** Как мы облучаемся каждый день. Экос-Информ, 1994. №2, сс. 35—39.

**Кейрим-Маркус И.Б. 1995.** Дозиметрические критерии для населения территорий с радиоактивным загрязнением. Бюлл. ЦОИПАЭ, № 7-8, сс. 43-47.

**Кесслер Г. 1986.** Ядерная энергетика. М. Энергоатомиздат, с.

**Ковалевская Л. 1995.** Чернобыль: ДСП. Последствия Чернобыля. Киев: «Арбис», 328 с.

**Ковалев Е.Е., Смирнова О.А. 1996.** Оценка радиационного риска, базирующаяся на концепции вариабельности индивидуальной радиочувствительности. М.: Науч. - иссл. испыт. центр рад. Безоп. космич. объектов. Рукопись. М., 22 с.

**Козлов В.Ф. 1991.** Справочник по радиационной безопасности. М., Энергоатомиздат, 352 с.

**Козубов Г.М., Таскаев А.И. 1994.** Радиобиологические и радиоэкологические исследования древесных растений: по материалам 7-летних исследований в районе аварии на Чернобыльской АЭС. СПб.: Наука, 256 с

**Козьмин Г.В., Круглов С.В. (Ред.). 1999.** Ведение сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения. Учебное пособие, Обнинск, Минсельхозпрод России, 188 с.

**Комаров В.П., Петин В.Г. 1985.** Математическое описание эффектов одновременного действия ионизирующей радиации и гипертермии на клетки млекопитающих. Медицинская радиология т. 30, сс. 41-46.

**Комаров В.П., Петин В.Г. 1987.** Анализ эффекта синергизма при терморadiационном воздействии на бактериофаг Т4 и споры *Bacillus subtilis*. Радиобиология, т. 27, сс. 449-454.

**Кононов Е.Н. 1993.** Столб в небе – знак беды. Интервью. Моск. новости, № 12, 21 марта

**Конухин В.П., Комлев В.Н. 1995.** Ядерные технологии и экосфера. Апатиты: Кольск. науч. центр РАН, 340 с.

**Косенко М.М. 1994.** Анализ патологии органов дыхания у населения, облучившегося на Южном Урале. Пульмонология. 1993 (1994). №4. сс. 70—77.

**Костюкова А.И. 1999.** Оценка экологического состояния среды по уровню нарушения стабильности развития организмов (на примере березы повислой), как одно из направлений факультативной работы в школе. Дипломная работа, Нижегородский государственный педагогический университет, Н. Новгород, 1999, 54 с.

**Криптон-85 в атмосфере. 1978.** Накопление, биологическое значение и способы контроля. Рекомендации Национального комитета США по радиационной защите и измерениям. Пер. с англ. М., Атомиздат., 64 с

**Крапивко Т.П., Ильенко А.И. 1990** Изучение процессов радиоадаптации популяции рыхих полевок (*Clethrionomys glareolus*) – цезиефоров. Докл. АН СССР, 1990, т.315, № 5, сс. 1275-1277

**Краснов И.М. 1990.** Радиационная обстановка в районе Смоленской АЭС. В кн.: И.И.Крышев и др. 1990. Радиоактивное загрязнение районов АЭС. сс. 43—47.

**Крылов Д.А. 1992.** Оценки воздействия на здоровье людей АЭС и ТЭС на угле и природном газе. Бюлл. ЦОИПАЭ, №11, сс. 65—74.

**Крылов Д.А. 1996.** Экологическая экспансия энергокомплекса. Энергия. №10, сс. 14—22.

**Крышев И.И. 1990.** Радиоактивное загрязнение водных экосистем. В кн.: И.И.Крышев и др. Радиоактивное загрязнение районов АЭС. сс. 82—93.

**Крышев И.И. (Ред.). 1991.** Радиоактивность районов АЭС. М., РНЦ «Курчатовский институт», 126 с.



- Крышев И.И. 1993.** Экологические критерии радиационной защиты в ядерной энергетике. Атомная энергия, том 74, вып. 4, сс. 321 – 327.
- Крышев И.И., Алексахин Р.М., Рябов И.Н. и др. 1990.** Радиоактивное загрязнение районов АЭС. М., Ядерное о-во СССР.
- Крышев И.И., Рязанцев Е.П. 1993.** Ядерная энергетика и биосфера: Экологические проблемы загрязнения природной среды при эксплуатации АЭС. Бюлл. ЦОИПАЭ, №1, сс. 28—32
- Крышев И.И., Рязанцев Е.П. 2000.** Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. М.:ИздАТ. 384 с.
- Кузнецов В. 1994.** Больная отрасль: Анализ хаоса. « Спасение», № 21. сс. 2—3.
- Кузнецов В.М. 2000.** Российская атомная энергетика: вчера, сегодня, завтра. Взгляд независимого эксперта. М., «Голос-пресс», 288с.
- Куркин Б.А. 1989.** Бремя «мирного» атома. М., «Молодая гвардия», 272 с.
- Купченко В., Колышкин А 1993.** Экологические проблемы ядерного комплекса России. Экол. вестн., (Аналит. вестн. Информ. агентства Postfactum). №4 (80), сс. 10—17.
- Лапин В.Л., Мартинсен А.Г., Попов В.М. 1996.** Основы экологических знаний инженера. М.: Экология, 173 с.
- Ларин И. 1994.** Невесильная радиация. Энергия, №12, сс. 5—9.
- Левонтин Р. 1986.** Генетические основы эволюции. М. Изд-во «Мир», 352 с.
- Легасов В. 1987.** Из сегодня в завтра. «Правда», 5 октября, с. 2.
- Легасов В.А., Кузьмин И.И., Черноплеков А.Н. 1984.** Влияние энергетики на климат. Изв. АН СССР, сер. «Физика атмосферы и океана», т. 20, №11, сс. 1089 — 1103.
- Маргулис У.Я. 1988.** Атомная энергия и радиационная безопасность. М., Энергоатомиздат, 279 с
- Марков Г.П., Станко В.И., 1992.** Радиоактивный распад как источник низкочастотного электромагнитного поля. Биофизика, т. 37, вып. 5, сс. 999 – 1001.
- Медведев М.Н. 1999.** Лазерное зонирование водоемов. Бюлл. ЦОИПАЭ, №12, сс. 40 -45.
- Меньщиков В. 1995.** Вокруг ситуации с хранением плутония и обогащенного урана в Томске-7 . Ядерн. контроль. №2, сс. 2-5.
- Мизина Т.Ю. 1996.** Адаптивные возможности организма в условиях воздействия ионизирующего излучения разной интенсивности и продолжительности действия. В кн.: Рихванов Л.П. (Ред.) Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы международной конференции, посвященной столетию со дня открытия явления радиоактивности и столетию Томского политехнического университета, 22 – 24 мая 1996 г., Томск, Изд. ТПУ, сс. 398 - 400.
- МКРЗ-90.** Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публикация 60. Части 1,2. Пер. с англ. М., Энергоатомиздат, 1994, 192 с., 207 с.
- Мосинец В.Н., Авдеева О.К. Мельниченко В.М. 1987.** Безотходная технология добычи радиоактивных руд. М., с. 5 (цит. По Б.А. Куркину. 1989, с. 84)
- Москвитина Н.С., Бабушкина Н.П., Жданов В.В. и др. 1996.** Некоторые показатели функционального состояния популяций мелких млекопитающих в условиях техногенного загрязнения среды. В сб.: Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Матер. межд. конф., Томск, 22-24 мая 1996 г., Томск, Изд-во ТПУ, сс. 391 – 394.
- Наумов В. 2000.** Саганинское озеро. Всем памятна трагедия на Челябинском атомном комбинате «МАЯК», но мало кто знает, что более крупный ядерный центр действует под Томском. «Труд», 21 апреля, с.6.
- НРБ-99.** Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Санитарные правила СП 2.6.1.758-99.

**Носов А.В., Иванов А.Б., Дельвин Н.Н. 1996.** Изучение содержания трития в водных объектах и приземной атмосфере в районе расположения предприятий ядерной энергетики и промышленности. В кн.: Рихванов Л.П. (Ред.) Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы международной конференции, посвященной столетию со дня открытия явления радиоактивности и столетию Томского политехнического университета, 22 – 24 мая 1996 г., Томск, Изд. ТПУ, сс. 183-187.

**Обзор..., 1996.** Обзор загрязнения окружающей природной среды в Российской Федерации за 1996 г. М., Росгидромет, 298 с.

**Орлова А.И. 1994.** Радиоактивность и экология. Бюлл. ЦОИПАЭ, №1, сс. 54—76.

**Оценка..., 1996.** Оценка экологического риска в связи с радиоактивным загрязнением природной среды Российской Федерации. М, РНЦ «Курчатовский Институт», 1996, 157 с.

**Петин В.Г. 1998.** Комбинированное воздействие факторов окружающей среды на биологические системы. Учебное пособие для студентов специальности 013100 «Экология». Обнинск: ИАТЭ, 76 с.

**Петин В.Г., Дергачева И.П., Романенко А.Г., Рябова С.В. 1997.** Новая концепция оптимизации и прогнозирования эффектов синергизма при комбинированном воздействии химических и физических факторов окружающей среды. Рос. Химич. Журн., т. XLI, № 3, сс. 96-104.

**Петин В.Г., Рябченко Н.И., Суринов Б.П. 1997.** Концепция синергизма в радиобиологии. Радиационная биология. Радиоз экология, т. 37, вып. 4, сс. 482 –487.

**Пискунов Л.И. 1997.** Ядерный объект за околлицей уральской столицы. Екатеринбург, 80 с.

**Пискунов М.А. 1997а.** Смертельный камуфляж. Атомный центр в Среднем Поволжье создает угрозу для населения. «Российские Вести», 15 августа, с.2.

**Пискунов М.А. 1997б.** Кто кого дурит, или о том, что выявило ЧП в НИИАРе. «Дмитровград-Панорама», 14 августа, № 91 (12831), сс. 1-2.

**Пискунов М.А. 1998.** Полигон. «Дмитровград - Панорама», № 18, с.3. (см. также: Полигон угрожает населению. «Гражданская инициатива» Дмитровград), №1, февраль 1998, сс. 2, 4-5, 18-22.

**Покаржевский А.Д., Усачев В.И. 1993.** Аномалии в антропогенной миграции радионуклидов в природных экосистемах. В кн.: «Экологические последствия радиоактивного загрязнения Южного Урала», М., «Наука», сс. 48 – 67.

**Постановление...1998.** Постановление Правительства России от 21 июля 1998 г. № 815 «Об утверждении Программы развития атомной энергетики Российской Федерации на 1998 – 2005 годы и на период до 2010 года».

**Потаниников Л. 1994.** Я ничего не предлагаю, я пытаюсь анализировать... «Северная правда» (Кострома), 20 октября, сс. 1—3.

**Программа ...2000.** Программа развития атомной энергетики Российской Федерации на 1998—2005 годы и на период до 2010 года: Постановление Правительства Российской Федерации от 21 июля 1998 г. № 815.

**Рихванов Л.П. (Ред.). 1996.** Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы международной конференции, посвященной столетию со дня открытия явления радиоактивности и столетию Томского политехнического университета, 22 – 24 мая 1996 г., Томск, Изд. Томского политехнического университета, 500с.

**Рихванов Л.П. 1997.** Общие и региональные проблемы радиоз экологии. Госкомитет по охране окружающей среды Томской области.. Томск, 384 с.

**Рублевский В.П. и др. 1979.** Радиоактивный углерод в биосфере. М., Атомиздат (цит. по Рихванов Л.П., 1997).

- Рябов И.Н. 1990.** Нерадиационные факторы воздействия на экосистемы районов АЭС. В кн.: Крышев И.И. и др. Радиоактивное загрязнение районов АЭС. М., сс. 50 —54.
- Рябов И.Н., Крышев И.И. 1990.** Оценка уровня флуктуирующей асимметрии и дозы облучения рыб морского водоема-охладителя АЭС. Вopr. ихтиологии, т. 30. №3, сс. 519—522.
- Сазыкина Т.Г. 1991.** Нерадиационные факторы воздействия на экосистемы районов АЭС. В кн.: Крышев И.И. (Ред.). Радиоактивность районов АЭС. М., Ин-т атомной энергии им. И.В.Курчатова, сс. 70-79.
- Санжарова Н.И. 1990.** Выбросы и сбросы АЭС. В кн.: Крышев И.И. и др. Радиоактивное загрязнение районов АЭС. М., сс. 22 — 33.
- Сечко Л. 1996.** Половая система после облучения. В кн.: А.А. Ярошинская (Ред.). Ядерная энциклопедия. М., сс. 331-335.
- Силантьев А.Н. 1990.** Радиоактивное загрязнение почв. В кн.: Крышев И.И. и др. Радиоактивное загрязнение районов АЭС. М., сс. 47 — 48.
- Симонов Е.Я. 1998.** Дополнения к книге «Атомная мифология. Заметки эколога об атомной индустрии», которые хотелось бы видеть в ее следующей редакции. Предисловие к предложениям по книге «Атомная мифология». 28 марта 1988 г., Рукопись, 15 с., 28 с.
- Стратегия..., 2000.** Стратегия развития атомной энергетики в России в первой половине XXI века. Основные положения. М., Министерство Российской Федерации по атомной энергии, 27 с.
- Субботин В.И. 1994.** Размышления об атомной энергетике. М., 1994. 130 с.
- США. 1994.** Национальные организации по борьбе с раковыми заболеваниями опровергают заявления о возникновении раковой эпидемии. Бюлл. ЦОИПАЭ, №9/10, с.79.
- Терешкин В. 1995.** Когда из «атомных семечек» взойдет «ядерный подсолнух». «Час пик» (СПб), 18 января, сс. 1-2.
- Усачев В. 2000.** Физико-химические свойства трития. В кн.: «Тритий – это опасно. Населению просто о сложном». Челябинск, Центр поддержки гражданских инициатив, сс. 49 –58.
- Уткин В.И. 1997.** О введении в районе Екатеринбурга режима зоны радиационного наблюдения. Вест. Уральского эколог. фонда, № 4 (21), сс. 5-6.
- Цыб А.Ф. 1996.** Чернобыльский след в России, «Тверская, 13», №17, с. 5.
- Часников И. 1993.** Осознать опасность, связанную с созданием и испытанием ядерного оружия. «Экоурьер», Алма-Ата, 15 апреля, с.5.
- Шевченко В.А., Померанцева М.Д. 1985.** Генетические последствия действия ионизирующих излучений. М., «Наука»,
- Шевченко В.А. 1999.** «Действие радиации и генетический груз в популяциях человека». В сб. «Жизнь в атомном и химическом мире». М., с. 41.
- Шевченко В.А., Абрамов В.И., Печкуренков В.Л. 1993.** Генетические исследования на. В кн.: «Экологические последствия радиационного загрязнения на Южном Урале». М., «Наука», сс. 258 – 302.
- Шварц С.С. 1980.** Экологические закономерности эволюции. М. «Наука», 280 с.
- Шеер Й., Цигель Х., Шмидт М. 1989.** . Опасность радиоактивного излучения в диапазоне малых доз: Докл. на совмест. симпоз. «зеленых» и представителей КПСС, Гёрде (ФРГ), январь 1989. Бремский университет. Рукопись, 33 с.
- Шилов И.А. 1977.** Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных. М., Изд-во МГУ, 263 с.
- Яблоков А.В. 1966.** Изменчивость млекопитающих. М., Изд-во «Наука», 364 с.
- Яблоков А.В. 1987.** Популяционная биология. Москва, «Высшая Школа», 304 с.

- Яблоков А.В. 1997.** Атомная мифология. Заметки эколога об атомной индустрии. М., Изд-во «Наука», 272 с.
- Яблоков А.В. 1998а.** Некоторые проблемы экологии и радиационной безопасности. Медицинская радиология и радиационная безопасность, т. 43, №1, сс. 24 – 29.
- Яблоков А.В. 2000а.** Миф о безопасности атомных энергетических установок. М., Центр экологической политики России, 88с.
- Яблоков А.В. 2000 б.** Миф о необходимости строительства атомных станций . М., Центр экологической политики России, 84с.
- Яромоненко С.П.** Радиобиология человека и животных. М., Высш.шк., 1988. 424 с.
- Ярошинская А.А. 1992.** Чернобыль. Совершенно секретно. М., «Другие берега», 576 с.
- Aubrey C., Grunberg D., Hildyard N. 1990.** (Ed.) Nuclear Power: Shut it down: An information pack on nuclear power and the alternatives. L., vol. 1, pp. 47—52.
- Ayala Fr.J., Kiger J. A. 1984.** Modern Genetics. Mentlo Park, Benjamin/Cummings Publ., XVIII+923 p.
- BBC News..., 2000.** India Nuclear worker «in danger». BBC News Online: World: South Asia. Sunday, 18 June, Helen Sewell of BBC Science
- Balter M. 1995.** Filtering a river of cancer data. Science. February 24, vol. 267, pp.
- Berg W. Von, Push K.H. 1996.** Utilization of by-products from coal-fired power plants in the Federal Republic of Econ. Comm. for Europe, EB. AIR/Sem.3/ B/ 22, Sept. 13, 13 p.
- Beral V., Roman E., Bobrow M.1993.** (Eds). Childhood cancer and nuclear installations. L.: BMJ Publ. group, XXXIII + 453 p
- Bertell R. 1985.** No immediate danger: Prognosis for a radioactive earth. L.: Women press, 435 p.
- Bertell R. 1998.** Ongoing 3 Mile Island coverup by Jimmy Carter. <http://www/geocities.com/motheralert/bertell.html>
- Bertell R. 1999.** Victims of the Nuclear Age. The Ecologist, vol.29, # 7, pp. 408 – 411.
- Bertell R. In litt, 2000.** May 11. Letter (by e-mail) to A. Yablokov.
- Biological..., 1999.** Biological effects at low radiation doses – models, mechanisms and uncertainties. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. A/AC.82r/598, % March 1999, 130 p.
- Brumhall R. (Ed.). 1996.** The Health Effects of Low Level Radiation: Proceedings of a Symposium held at the House of Commons, 24 April 1996. Aberystwyth, Green Audit Pbl., 157 p.
- Busby C.C. 1995.** Wing of Death: Nuclear Pollution and Human Health. Aberystwyth, Green Audit Pbl., 340 p.
- Caldicott H. 1997.** Nuclear power won't fix our «Greenhouse». Los Angeles Times, November 30, p. A19.
- «Cancer Awareness» 1994.** PR Condemned. Ecologist. November / December, p. 2.
- Cohen N., Cohen K. 1999.** Infant Health in Salem County fares poorly since nuke start-up, says radiation health group. Coalition for Peace and Justice, Press release from 06.12.99; <http://members.bellatlantic.net/~norco/>.
- Chazi P. 1993.** New cancer fears raise Minister's doubt on THORP. «Observer». October 25.
- Combined effects of radiation and other agents. 1996.** UN Sci. Com. Effect Atomic Radiation, A\AC.82.R.563, 25 March, 132 p.
- Combined ...,2000.** Combined effect of Radiation and other agents. Annex K. United Nation Coommittee on the Effect of Atomic Radiation, A/AC.82.612, 2 February 2000, 162 p.
- Commission..., 1995.** Commission moves to tighten rules on radiation protection. Europe Environ. №487, pp. 5—6.
- Cullen S., Brown J. 2000.** Infant death drop dramatically after nuclear power plants close. (<http://www.radiation.orgwww.radiation.org>).

- Edwards R. 1999.** Air raid warning. *New Scientist*, 14 August, pp. 49 – 49.
- Enstrom J.E. 1983.** Cancer mortality pattern around the San Onofre nuclear power plant, 1960 — 1978 // *Amer. J. Publ. Health*, vol. 73, №1, pp. 83—92
- Exposures...1999.** Exposures from man-made sources of radiation. United Nation Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, A/AC.82/R.590, 15 January 1999, 150 p.
- Frischknecht R., Braunschweig A., Hofstetter P., Suter P. 2000.** Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assesment. *Envir. Impact Assessment Rew.*, vol. 20, pp. 159 - 189.
- Ghoshal S/ 2000. Chernobyl may have claimn one million Indian infants/** Marceucci@mindspring.com. **6 May, 15:29**
- Greenpeace Summary. 1994.** No case for a special case. Nuclear power and government energy policy Greenpeace International. L., 4 p.
- Gofman J. 1990. См. Гофман Дж. 1994**
- Cornwell R. 2000.** Welcome to Murmansk, Dumping Ground for a Decrepit Nuclear Fleet. *The Independent (London)*, August 16.
- Grossman K. 1997.** The wrong stuff. The space program’s nuclear threat to our planet. *Common Courage Press*, Monroe, 272 p.
- Gulf War...1999.** Gulf War Veterans «Poisoned by own Side». November 24, <http://uk.news.yahoo.com/991124/2/bnev.html>.
- Hall J. 1996.** A terrible beauty. The Chernobyl effects. *Independent Magaz.* March 30, pp. 8-11,14.
- Heimers A., Dannheim B., Grell-Buchtman I., Schroder H., Schmitz-Fuerhake I. 1997.** Chromosome aberration analysis in persons living in the vicinity of the Nuclear Power Plant Krummel. In: Schmitz-Feuerhake I., Schmidt M (Eds.). *Radiation Exposures by Nuclear Facilities. Evidence of the Impact on Health. Proc. Intern. Workshop German Society for Radiation Protection, University of Portsmouth, 9 – 12 July, 1996, Portsmouth, England, Berlin*, pp. 212 - 215.
- Hoffman W. 1998.** Review and discussion of epidemiologic evidence for childhood leukemia clusters in Germany. In: Schmitz-Feuerhake I., Schmidt M (Eds.). *Radiation Exposures by Nuclear Facilities. Evidence of the Impact on Health. Proc. Intern. Workshop German Society for Radiation Protection, University of Portsmouth, 9 – 12 July, 1996, Portsmouth, England., Berlin*, pp. 86 – 117.
- IAEA ..., 2000.** IAEA Dayly press review date 2000-06-19 Number 111, 4.Energy, Environment (T-17/6)
- Jablons S., Hrubec Zd., Boice J.D. 1991.** Cancer in populations living near nuclear facilities. *J.Amer.Med. Assoc.*, vol. 265, №11, pp. 1403- 1408.
- Jonston P.A 1996.** Caroll S., Stephenson A.D., Stringer R.L., Santillo D. 1996. International viewpoints on environmental protection: goal and methods. *Proc.Intern. Symp. On Ionising Radiation, Stockholm, May 20-24, pp. 295 - 304.*
- Kemp St. 1999.** Nuclear power does not help on climate change. (<http://www.gn.apc.org/nfzmsc>)
- Kimbel B.F. 1998.** Prenatal irradiation: a major concern for the developing brain. *Int. J. Radiat. Biol.*, vol. 73, #4, pp. 423 – 434.
- Kovalev E.E., Smirnova O.A. 1996.** Estimation of radiation risk based on the concept of individual variability of radiosensitivity. AFRRRI Contact Report 96—1. Bethesda, 1996. V+202 p.
- Knight D. 2000.** Infant mortality rates drop around five US nuclear power reactors after reactors closed (<http://www.geocities.com/mothersalert/infant.html>); IPS, Washingtn, April 26.

**Krause F., Komey J., Oliver D. et al. 1994.** Energy policy in the Greenhouse: The cost and potential of lowcarbon electricity options. P-ts 1, 2, 3A, 3B, 3C, 3D, 3E, 4, 5, 6. El Cerrito, California, 1994. 1510 p. (Intern. Project for Sust. Energy Paths (IPSEP)).

**Kronich Ch. 1999.** Nuclear power and Climate Change. *The Ecologist*, vol. 29, # 2, March / April, pp. 135 –137.

**Lewis M.I. 2000.** The Problem With Plutonium: More soluble than thought marvlewis@juno.com

**Masson et al. 1989.** Synopsis of French experimental and in situ research on the terrestrial and marine behavior of Tc . *Health Phys.* vol. 57, pp. 269—279.

**Mazeika J., Petrosius R., Jasiulionis R., Sirvaitis P. 1996.** Isotopic ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) variations of water in thee Ignalina NPP region. *Proc. Intern. Symp. On Ionising Radiation*, Stockholm, May 20-24, pp. 596 – 601.

**Morris M. et al. 1990.** South Eastern Massachusetts health study, 1978—1990 Div. of Environ. Health Assessment. Dep. of Public Health. Commonwealth of Massachusetts. (Цит. по: Грейб, 1994).

**Mortimer N. 1989.** Aspects of the Greenhouse Effect. *Friends of Earth proof of Evidence*, # 9, pp. 1-4.

**Mounfield P.R. 1991.** *World Nuclear Power: Short loan*. L.- N.-Y., Routledge, 423 p.

**Radford T. 1993.** N-plant zinc «may affect prostate». «*Guardian*», November 26.

**Radiation and health. 1990.** Radiation sickness in South Korean village. *Wise News Communiquй*. 1989. №137, September 8 (Цит. по: Aubrey et al., 1990. pp. 102—103).

**Rickover J. 1998.** <http://www.geocities.com/motheralert/rickover.html>.

**Singer S. 1999.** Nuclear phase-out no threat to Kyoto commitments. *Hotspot. Climate & Energy policy news from Europe.* #7, May, pp. 1,4.

**Schmidt M., Schmitz-Feuerhake I., Ziggel H. 1997.** Evaluation on nuclear reactor releases by environmental radioactivity in a German region of elevated leukemia in

**Sumner D. 1993.** Collective doses to Europe from Sellafield discharges: Submitted by Greenpeace International, to the First Meeting of the Working group on radioactive discharges of the Paris Commission, 5—7 May, 1993. Brussels, 19 p.

**UNSCEAR, 1996.** Effects of radiation on the environment. United Nation Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation, Doc. A/AC.82/R.565, 17 May 1996, 108 p.

**Vinogradov A.E., Chubinishvili A.T. 1999.** Genome reduction in a hemiclonal frog *Rana esculenta* from radioactively contaminated areas. *Genetics*, vol. 115, pp. 1123-1125.

**Warrick J. 1997.** Study links Three Mile Island radiation releases to higher cancer rates. *Washington Post*, February 24, p. A06; [http://www.washingtonpost.com/wp-rv/national/longterm/tmi/stories/study0224\\_97.htm/](http://www.washingtonpost.com/wp-rv/national/longterm/tmi/stories/study0224_97.htm/)

**Whyte R.K. 1992.** First Day neonatal mortality since 1935: re-examination of the cross hypothesis. *Brit. Med. J.*, vol. 304, pp. 343 - 346.

**Wing S., Shy K.M., Wood J.L. et al. 1991.** Mortality among workers at Oak Ridge National Laboratory. *J. Amer. Med. Assoc.*, vol. 265, №11, pp. 1397—1402.

**Yablokov A. V. 1974.** *Variability of Mammals. Revised Edition.* Washington – New Delhi, Smithsonian Institution – Amerind Publ., XI+350 p.

**Yablokov A.V., Ostroumov S.A. 1991.** Conservation of living nature and resources: Problems, trends and prospects. B.: Springer, 1991. VII+271 p.

**Zimina L.M. 1996.** Thermal and chemical influence of Leningrad NPP on coastal waters, that are used for NPP cooling system. *Proc. Intern Symp. On Ionising Radiation*, Stockholm, May 20-24, 1996, pp. 653 - 655.

## Приложение

**Основные радионуклиды различного происхождения в биосфере** (Конухин, Комлев, 1995).

<b>Совокупность радионуклидов</b>	<b>Источник</b>
Калий-40, углерод-14, бериллий-7, уран-235 и 238, Торий-232, Калий-40, цезий-137, свинец-210, радий 226, торий-232, уран-238, радон-222	Естественная радиоактивность Добыча урана
Тритий, углерод-14, марганец-54, железо-55, цинк-65, криптон-85, стронций-89 и 90, рутений-106, иод-131, Цезий-137, барий-140, церий-144, плутоний-238, 239, 240 и 241, америций-241	Испытания и применение ядерного оружия
Марганец-54, серебро-110, кобальт-58 и 60, сурьма-124 и 125, иод-129 и 131, цезий 134 и 137, тритий, углерод-14, криптон-85	Штатные сбросы АЭС
Марганец-54, кобальт-58 и 60, стронций-90, рутений-103 и 106, родий-106, серебро-110, сурьма-125, цезий-137, Церий-144, празеодим-144, плутоний-238, 239 и 240, Америций-241, криптон-85	Переработка отработавшего ядерного топлива
Рутений-103 и 106, родий-106, цезий-134 и 137, иод-131, стронций-90	Ядерные аварии

А.В. Яблоков – член-корреспондент Российской академии наук, почетный иностранный член Американской академии искусств и наук, зам. председателя Комитета по экологии Верховного Совета СССР (1989 – 1991 г.), советник по экологии Президента России (1991-1993 гг.), председатель правительственной комиссии по сбросу радиоактивных отходов в моря (1992-1993 гг.), организатор и председатель Межведомственной комиссии по экологической безопасности Совета Безопасности Российской Федерации (1993 – 1997 гг.), основатель (1993 г.) и президент Центра экологической политики России. Автор более 20 монографий, сводок и учебных пособий по популяционной и эволюционной биологии, экологии, нескольких десятков публикаций по проблемам радиоэкологии, ядерной и радиационной безопасности.

## **Яблоков Алексей Владимирович**

Серия «Атомная мифология»

Миф об экологической чистоте атомной энергетики

Научно-технический редактор серии И.А. Реформатский  
Дизайн обложки М. Трубецкой

Учебно-методический коллектор «Психология»  
Лицензия № 00451 от 15 ноября 1999 г.  
Адрес: 107005, г. Москва, ул. Бауманская, д. 50/12, стр. 1  
Тел. (095)746-0239, тел./факс (095)203-3565  
E-mail: collect@mail.ru

Подписано в печать 24.02.2001. Формат 60х90/16.  
Бумага офсетная. Гарнитурa TimesNR. Усл. печ л. 8.5  
Печать ризограф



