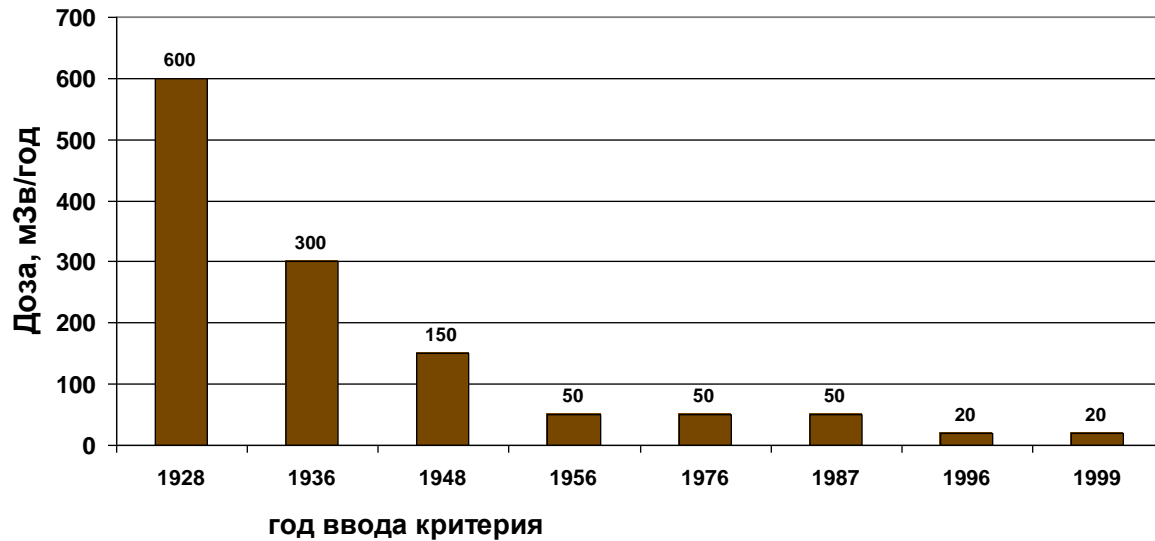


# Радиационные риски и экологическая безопасность ядерного топливного цикла

Арутюнян Р.В.  
профессор, д.ф.м.н.

28 июля 2016 г.

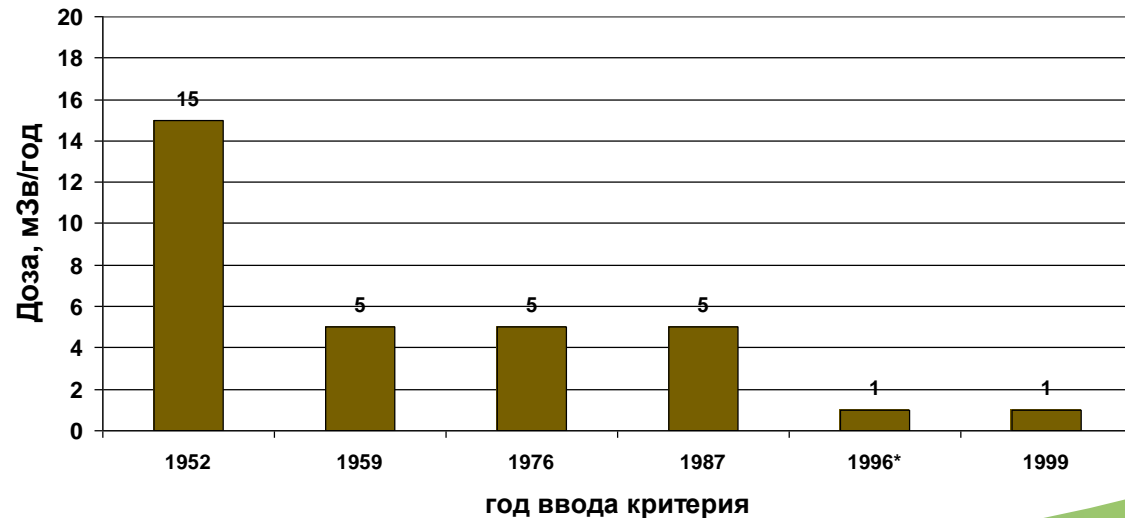
# Эволюция дозовых пределов для персонала и населения



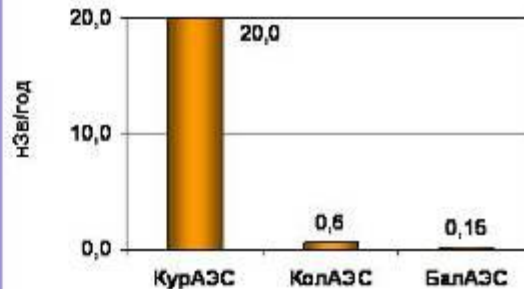
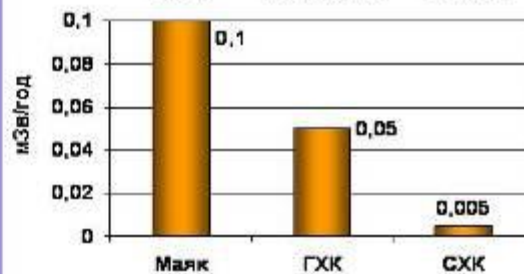
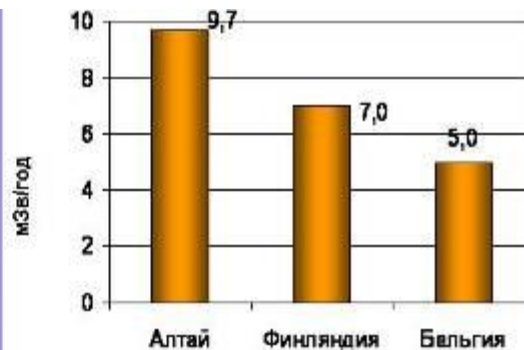
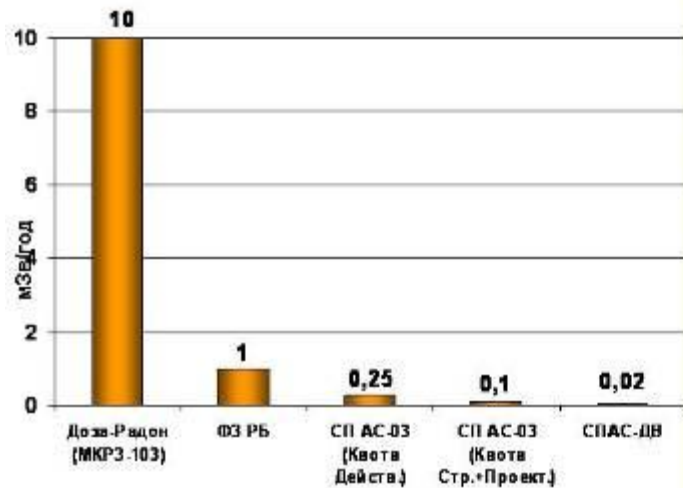
← **Персонал**

США – 50 мЗв/год

**Население** →



# Нормативные уровни и фактические дозы облучения населения



Доза-Радон (МКРЗ-103) – допустимая годовая доза облучения населения за счет радона в помещениях;

ФЗ РБ – согласно Федеральному закону «О радиационной безопасности населения» допустимый предел дозы облучения на территории РФ в результате использования ИИИ для населения – средняя годовая доза – 0,001 Зв;

Республика Алтай, Финляндия (500 тыс. чел.), Бельгия (730 тыс. чел.) – среднегодовые дозы облучения населения;

СП АС-03 (Квота Действ.) – квота дозы от предельно допустимых сбросов и выбросов действующих АЭС России (Согласно СанПиН 2.6.1.24-03 – СП АС-03);

СП АС-03 (Квота Стр.+Проект.) – квота дозы на население от предельно допустимых сбросов и выбросов для строящихся и проектируемых АЭС (Согласно СанПиН 2.6.1.24-03 – СП АС-03);

СПАС-ДВ – дозы облучения критических групп населения (10+10 мкЗв) от допустимых сбросов и выбросов для проектируемых и строящихся АЭС (согласно СанПиН 2.6.1.24-03 – СП АС-03);

Маяк, ГХК, СХК – годовые дозы на критические группы населения, проживающих в районе расположения предприятий;

КурАЭС (г.Курчатов), КолАЭС (Полярные зори), БалАЭС (Балаково) – фактические годовые дозы облучения населения от выбросов Курской, Кольской и Балаковской АЭС.

# Число смертей и ранних эффектов при радиационных авариях. На основе опубликованной информации (за исключением злоумышленных действий и ядерных испытаний)

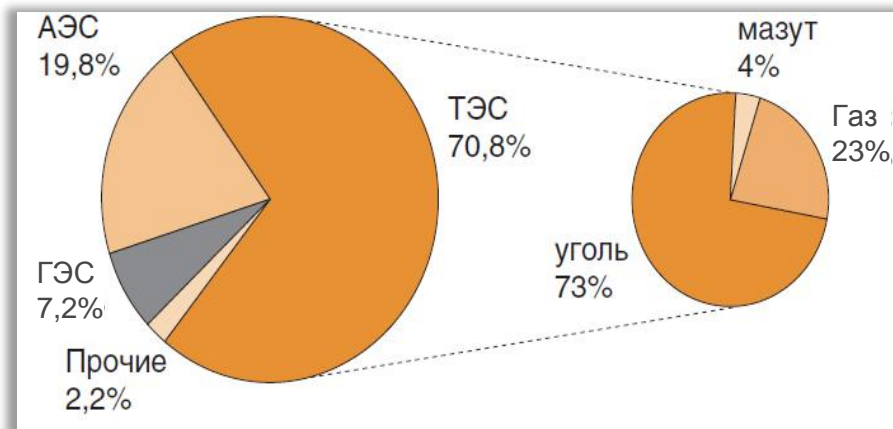
Тип аварии	1945-1965	1966-1986	1987-2007	Всего	Заключение Комитета относительно полноты отчета
Аварии на ядерных объектах	46 ранних эффектов	227 ранних эффектов *	2 ранних воздействия	275 ранних эффектов	Есть вероятность того, что сообщено о большей части смертей многих травмах
	16 смертей	40 смертей *	3 смерти	59 смертей	
Несчастные случаи на производстве	8 ранних эффектов	109 ранних эффектов	49 ранних эффектов	166 ранних эффектов	Вероятно, о ряде смертей и травм не было сообщено
	0 смертей	20 смертей	5 смертей	25 смертей	
Инциденты с бесхозными ИИИ	5 ранних эффектов	60 ранних эффектов	204 ранних эффектов	269 ранних эффектов	Вероятно, о ряде смертей и травм не было сообщено
	7 смертей	10 смертей	16 смертей	33 смерти	
Аварии при научно-исследовательских работах	1 ранний эффект	21 ранний эффект	5 ранних эффектов	27 ранних эффектов	Вероятно, о ряде смертей и травм не было сообщено
	0 смертей	0 смертей	0 смертей	0 смертей	
Несчастные случаи при медицинском применении	Неизвестно	470 ранних эффектов	143 ранних эффектов	613 ранних эффектов	Очевидно, что о многих смертях и о значительном количестве травм не было сообщено
	Неизвестно	3 смерти	42 смерти	45 смертей	
ИТОГО					
Ранних эффектов	60	887	403	1350	
Смертей	23	73	66	162	

табл.10 стр.52 из приложения R.671 к докладу НКДАР ООН за 2008 г.

# Воздействие тепловых электростанций на здоровье населения США \*)

Воздействие на здоровье	Количество случаев в год
Смерть	23 600
Смертей от рака легких	2826
Госпитализация	21 850
Обращение за скорой медицинской помощью вследствие приступа астмы	26 000
Сердечных приступов	38 200
Хронических бронхитов	16 200
Приступов астмы	554 000
Потерянных рабочих дней	3 186 000

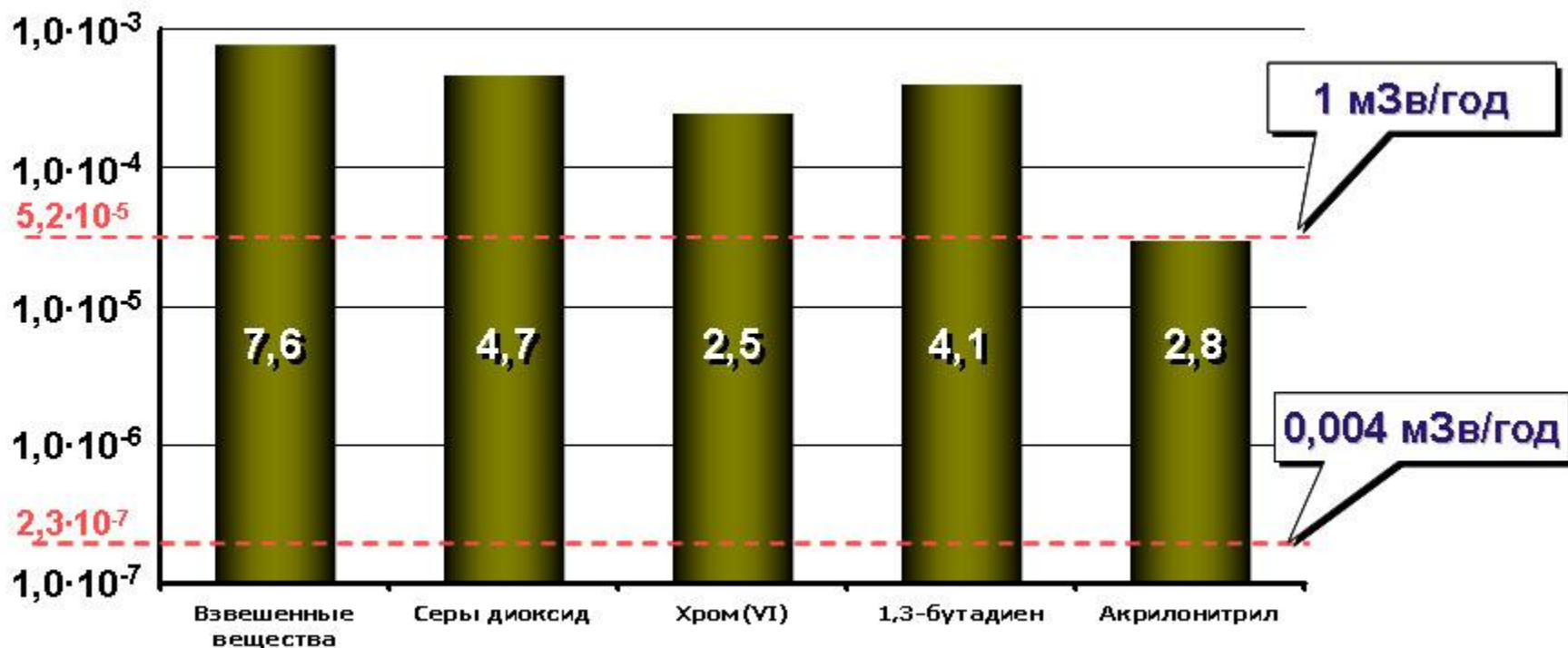
Структура производства электроэнергии США в целом  
(Energy Information Administration, 2000 г.)



# Риски смерти среди населения, проживающего в городах с крупными угольными ТЭС

Города	Численность населения, тыс. чел.	Индивидуальный годовой риск смерти	Популяционный годовой риск смерти, чел.
Улан-Удэ	371,4	$5,1 \cdot 10^{-4}$	190
Черемхово	50,0	$1,9 \cdot 10^{-3}$	96
Чита	316,7	$8,8 \cdot 10^{-4}$	278
Новочеркасск (Ростовская ГРЭС)	188,7	$3,2 \cdot 10^{-4}$	60
Уссурийск	158,4	$1,0 \cdot 10^{-3}$	158

Индивидуальные годовые канцерогенные и не канцерогенные  
риски смерти при воздействии некоторых химических веществ  
на уровне ПДК в воздухе и риск смерти от допустимой (1 мЗв/год)  
и от НВАЭС (0,004 мЗв/год) доз облучения населения





# Индивидуальные годовые риски смерти для населения России

Причины	Подвержено, млн. чел	Риски	Смертей в год
Все причины (мужчины, ср. за 2000-2007 гг.)	66,8	$1,7 \cdot 10^{-2}$	1 167 305
Внешние причины в том числе: от употребления алкоголя (мужчины, ср. за 2000-2007 гг.)	66,8	$3,4 \cdot 10^{-3}$ $1,0 \cdot 10^{-3}$	229 204 71 580
Сильное загрязнение воздушной среды	43 (по данным мониторинга) более 70 (экстраполяция**)	$10^{-4} \cdot 10^{-3}$ (потеря лет жизни: 0,5 чел.-лет ***)	21 000 18 700**** 40 000
Загрязнение воздуха химическими канцерогенами	50 (по данным мониторинга)	$10^{-5} - 10^{-7}$	620
Зона отселения ЧАЭС	0,1 (загрязненные районы Украины, России, Беларуси)	$8 \cdot 10^{-5}^*$ (потеря лет жизни: 15 чел.-лет )	8*
Проживание вблизи ГХК, СХК, ПО «Маяк»	0,9	$6 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-7}^*$	< 3*
Проживание вблизи АЭС	0,5–1,0	$7 \cdot 10^{-7}^*$	< 0,7*
Проживание вблизи угольных ТЭС	10–15	$10^{-4} - 10^{-3}$	5 000–7 000

## Примечания:

\* – гипотетические риски смерти в области малых доз в рамках беспороговой концепции

\*\* – экстраполировано на все городское население

N. Künzli «Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: A European assessment»,

\*\*\* – «The Lancet», Vol. 356, September 2, 2000

\*\*\*\* – по данным Минздрава России



**Распределение больных острой лучевой болезнью по степени тяжести общего клинического синдрома и срокам наступления смертельного исхода в специализированном стационаре (без учета поражений кожи)**

<b>Число больных</b>	<b>Степень тяжести</b>	<b>Доза, Гр</b>	<b>Число летальных исходов</b>	<b>Срок летального исхода, сут</b>
<b>31</b>	<b>I</b>	<b>0,8–2,1</b>	<b>–</b>	<b>–</b>
<b>43</b>	<b>II</b>	<b>2–4</b>	<b>1</b>	<b>96</b>
<b>21</b>	<b>III</b>	<b>4,2–6,3</b>	<b>7</b>	<b>48, 16, 21, 21, 24, 16, 10</b>
<b>20</b>	<b>IV</b>	<b>6–16</b>	<b>19</b>	<b>10, 14, 15, 18, 18, 17, 15, 16, 17, 17, 15, 20, 21, 24, 25, 29, 30, 86, 91</b>

Гуськова А.К. «Медицинские последствия аварии на чернобыльской АЭС. Основные итоги и нерешенные проблемы». Атомная энергия, т. 113, вып. 2, август, 2012,

# Принятие чернобыльского закона относящего к «пострадавшим» территории с уровня 1 Ки/км<sup>2</sup>

Области	Дополнительные к фону накопленные эффективные дозы за 20 лет, мЗв				
	10-20	20-50	50-70	70-100	Выше 100
Брянская (тыс.чел.)	112,6	103,2	18,1	5,1	1,6
Калужская (тыс.чел.)	6,2	0,6	-	-	-
Тульская (тыс.чел.)	34,9	3,7	-	-	-
Орловская (тыс.чел.)	7,7	0,5	-	-	-

**Итого: 290 тыс. чел.**

В остальных областях с населением 2,3 млн чел. накопленные дозы не превышают 10 мЗв

---

**Допустимая накопленная доза по радону за это же время – 200 мЗв (МКРЗ №103)**

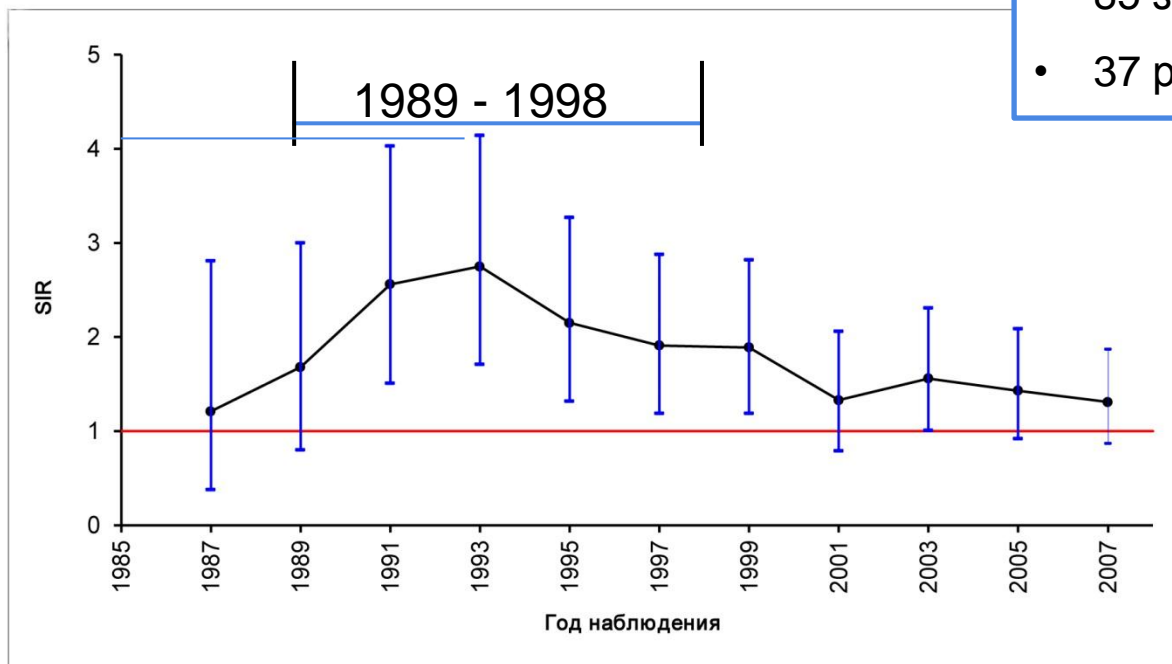
**Фактическая накопленная доза за тоже время населения Республики Алтай и Финляндии – 180 мЗв и 150 мЗв соответственно**

# Результаты когортного исследования УЛПА

МКБ-10 C91.0—C95.9 (лейкозы) и D46.0—D46.9 (миелодиспластические синдромы).

Всего 122 дополнительных случая за 10 лет:

- 85 за счет скрининга
- 37 радиогенных



УЛПА	Кол-во чел.
Всего	195 658
1986	93 042
1987	64 762
88—90	37 854

Динамика стандартизованного отношения заболеваемости (SIR) в когорте ликвидаторов к соответствующим российским показателям (95% ДИ)



# Рак щитовидной железы



Для жителей РЗТ среднее значение накопленных к 2015 г. эффективных доз 0,03 Зв (природный фон + 25%).

Средняя доза на ЩЖ 0,084 Гр, у детей - до 4 Гр.

$$RR = 1,4$$

Возраст на момент аварии, лет	0—17	>=18
Численность когорты	97191	211939
Число случаев РЩЖ	247	746
Ср. доза в когорте, Гр	0,188	0,037
SIR (95% ДИ)	8,13 (6,31; 10,23)	3,71 (3,43; 4,01)

Доля радиогенных случаев РЩЖ:  
мальчики - 62% (38 случаев)  
девочки — 33% (61 случай).

# Радиоактивное загрязнение после черновыльской аварии

**$^{137}\text{Cs}$  с плотностью свыше 1 Ки/кв.км**

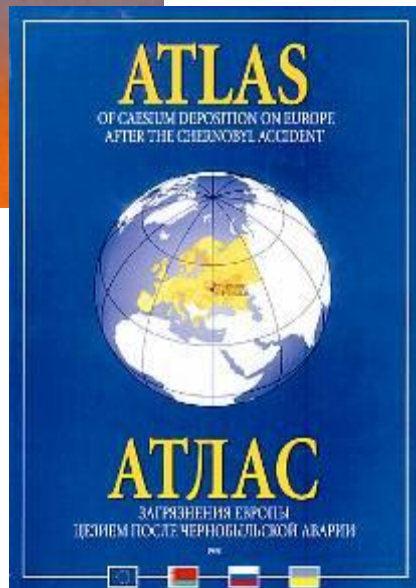
17 стран Европы – 207 тыс. кв. км,

в том числе:

- Беларусь – 43 тыс. кв. км;
- Россия – 59 тыс. кв. км;
- Украина – 38 тыс. кв. км;
- Норвегия – 7 тыс. кв. км.



**АТЛАС**  
РАДИОАКТИВНОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ,  
БЕЛОРУССИИ И УКРАИНЫ



## Сегодня в Норвегии:

Оленина и дичь,	
пресноводная рыба,	– 3000 Бк/кг
Молоко и детское питание	– 370 Бк/кг
Другие продукты питания	– 600 Бк/кг

## Сегодня в России:

ПДК по $^{137}\text{Cs}$ в молоке	– 100 Бк/л
-----------------------------------	------------

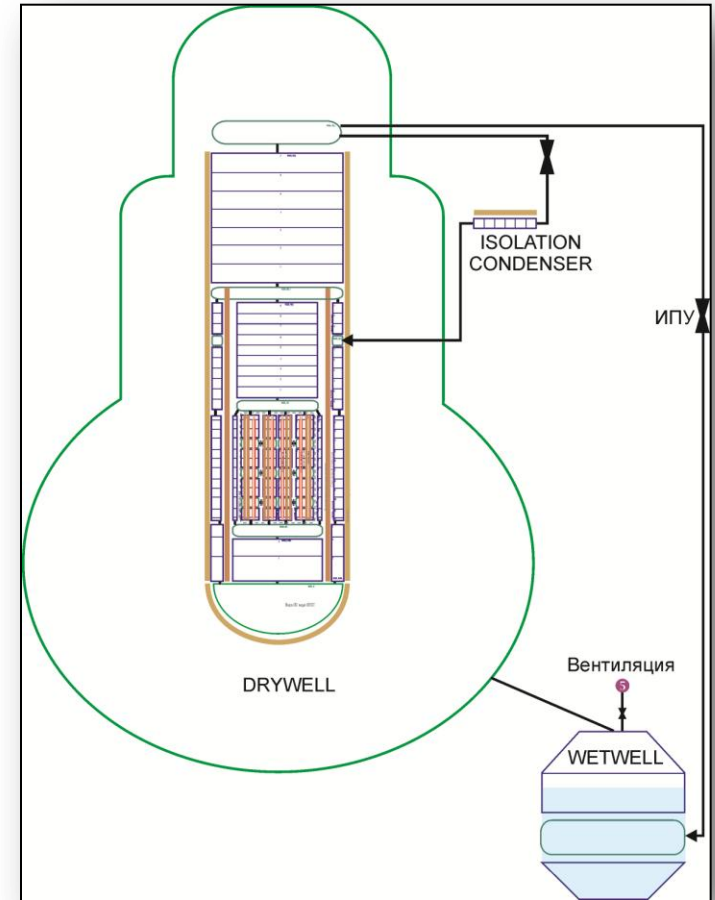
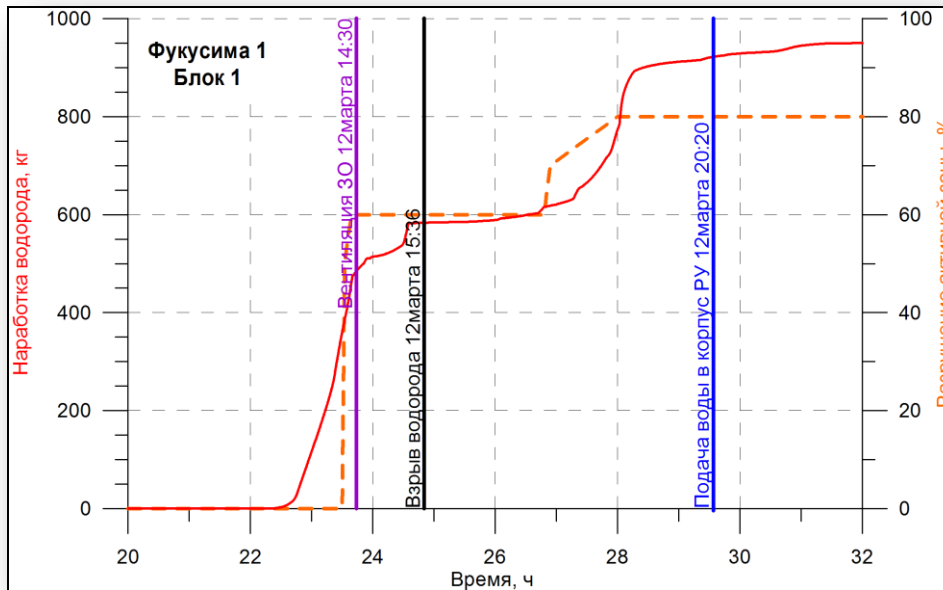
# Фукусима-1





# Расчетный прогноз ситуации на АЭС «Фукусима-1»

	Расчетное время (яп.) взрыва водорода	Фактическое время (яп.) взрыва водорода
Блок 1	12 марта 15:16	12 марта 15:36
Блок 2	15 марта 05:45	15 марта 06:14
Блок 3	14 марта 08:00	14 марта 11:01

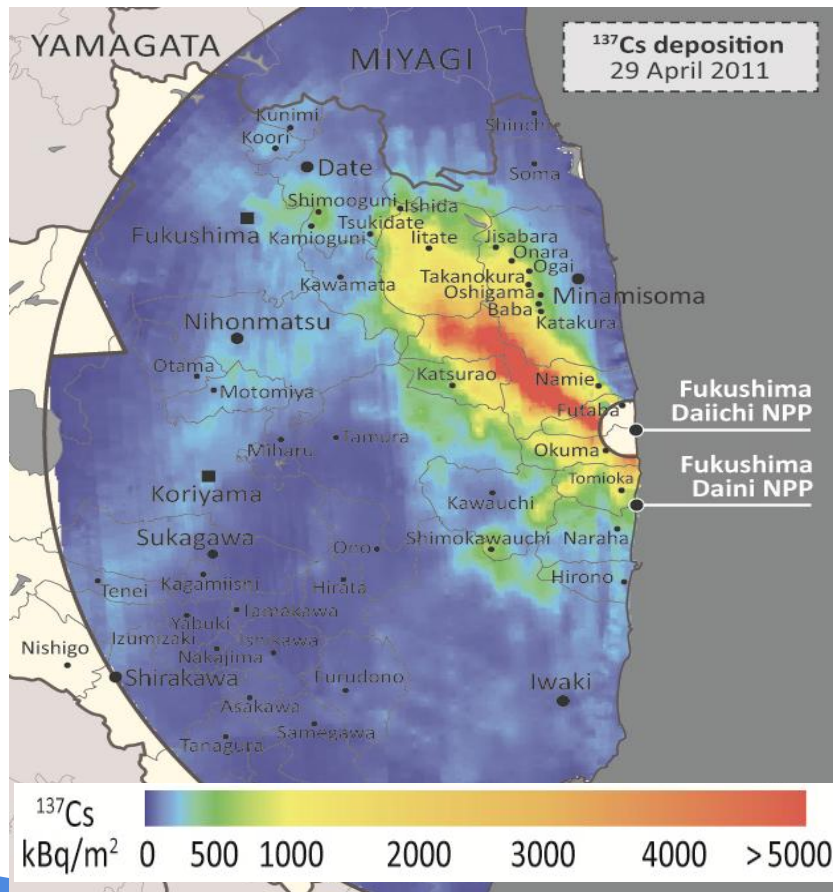


Расчетная модель РУ ВВР/3 для кода СОКРАТ

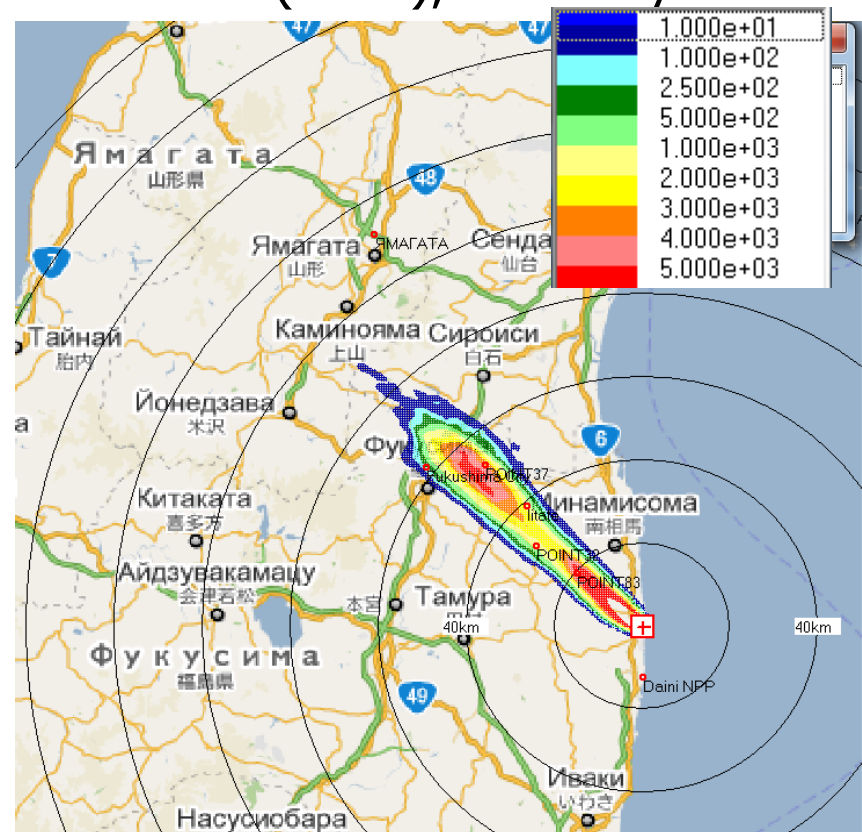


# Оценка плотности выпадений Cs-137 с учетом прогнозных метеополей (расчеты проводятся на кластерной вычислительной установке)

Результаты радиационной разведки  
ЕХТ, Япония (2011), Максимум - 15.5 МБк/м<sup>2</sup>



Моделирование ИБРАЭ  
(2011), Максимум – 70.0



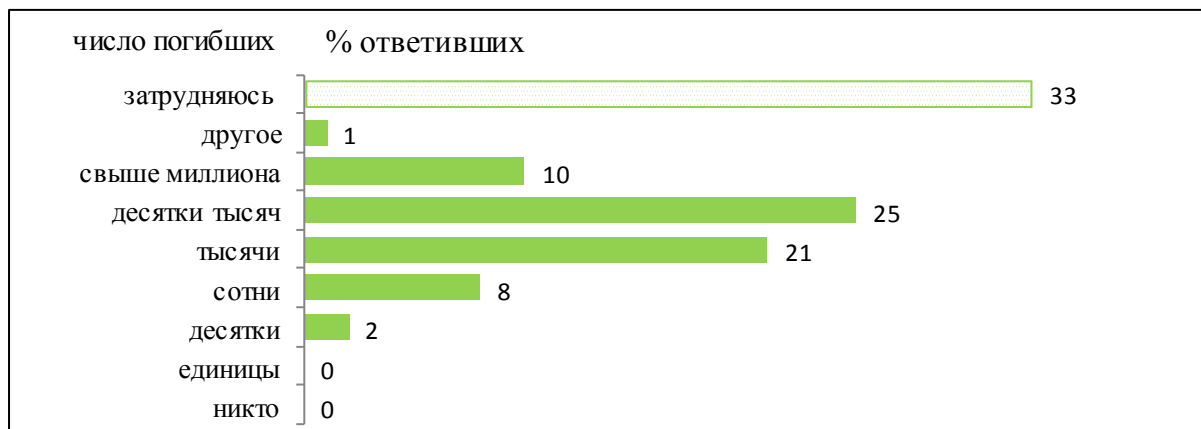
# Площадь территорий и численность населения в зонах с ожидаемой годовой дозой для населения свыше 20 и 100 мЗв

			Ожидаемая годовая доза, мЗв/год	
			> 20	> 100
В 20 км зоне	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	327	101
		Заселенная	109	24
	Население, чел.		43 700	8750
Вне 20 км зоны	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	368	53
		Заселенная	84	11
	Население, чел.		16 300	4000
Всего:	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	695	154
		Заселенная	193	35
	Население, чел.		60 000	12 550

# Негативный перенос образа Чернобыля на Фукусиму

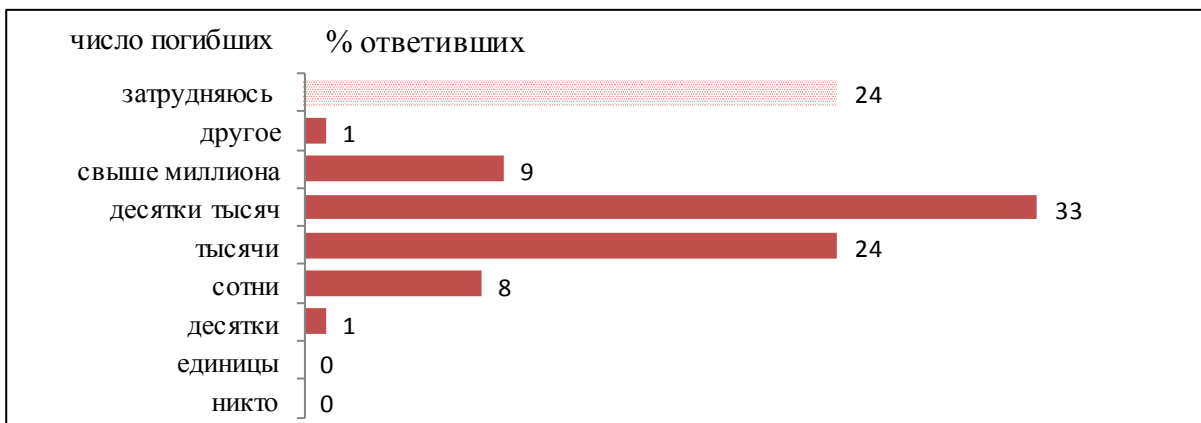
## Фукусима 2011

В 2011 г. произошла авария на АЭС «Фукусима» в Японии. По Вашему мнению, сколько всего людей погибли от радиационного воздействия в результате этой аварии?»



## Чернобыль 1986

ФОМнибус 26-28 октября 2012 года: опрошены 1500 человек в 44 регионах РФ, опрос в форме интервью по месту жительства респондента



Письмо Роспотребнадзора от 21.06.2013 № 01/7000-13-32  
«Оценка радиационной безопасности населения при  
воздействии природных источников ионизирующего излучения»

Руководителям управлений  
Роспотребнадзора по субъектам  
Российской Федерации,  
железнодорожном транспорте  
Главным врачам ФБУЗ  
«Центр гигиены и эпидемиологии»  
в субъектах Российской Федерации,  
на железнодорожном транспорте  
ФБУЗ «Федеральный центр  
гигиены и эпидемиологии»  
Роспотребнадзора  
ФБУН «Санкт-Петербургский  
НИИ радиационной гигиены  
им. профессора П.В. Рамзаева»  
Роспотребнадзора

..... На территории 27 субъектов Российской Федерации выявлены около **1,1 млн.** человек, дозы природного облучения которых **превышают 10**, а в отдельных случаях **20 мЗв/год**, (являющихся годовым нормативом для персонала радиационных объектов). Например, средние дозы жителей г. Балей Забайкальского края превышают **15 мЗв/год**, часть жителей города численностью около 1000 человек получает дозы **от 25 до 65 мЗв/год**, за счет изотопов радона в воздухе жилых и общественных зданий, а группа жителей, более 100 человек **от 65 до 160 мЗв/год**.....

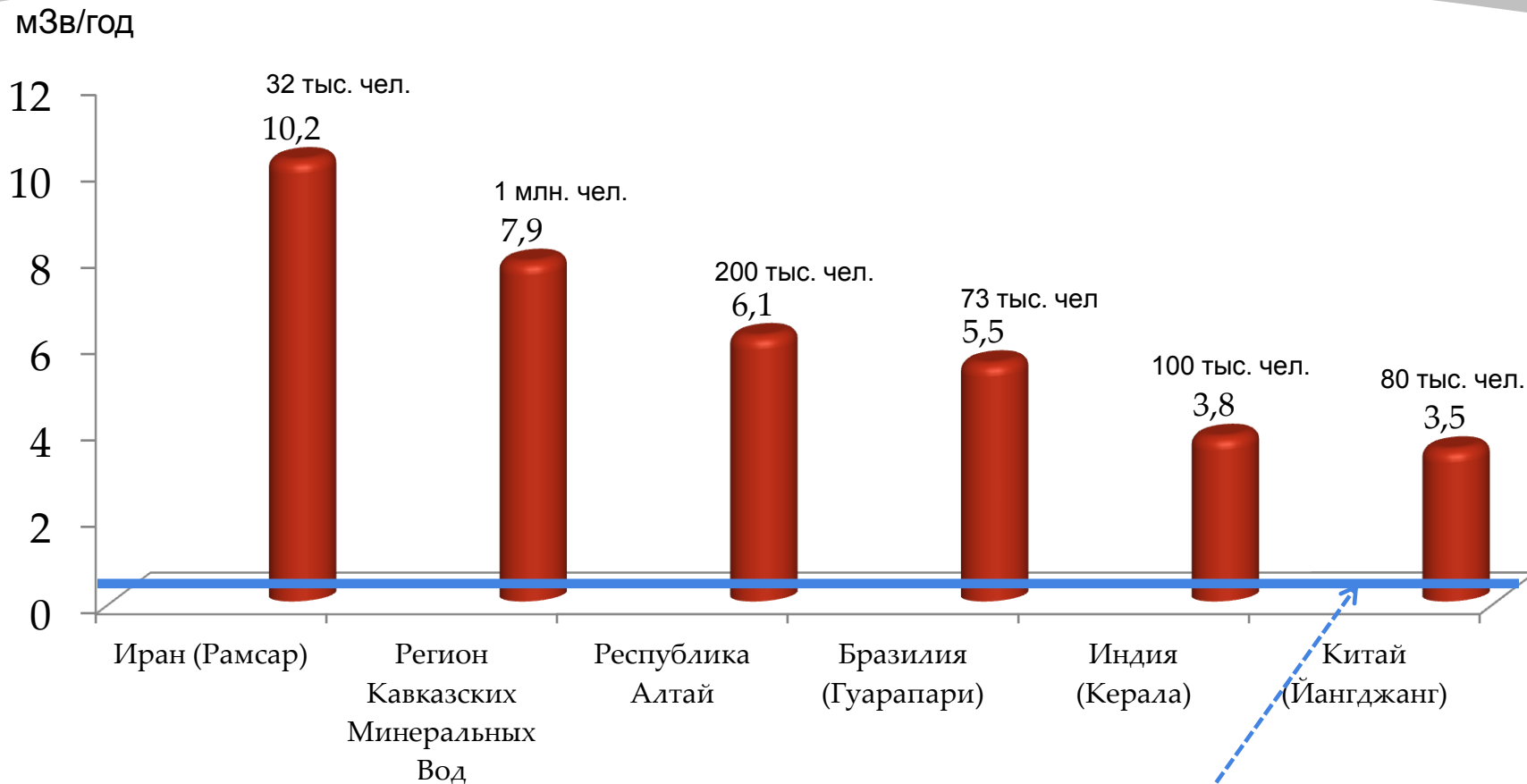
Руководитель

Г.Г. Онищенко

Средние дозы облучения за счет ЭРОА изотопов радона отдельных групп наиболее облучаемых жителей в разных субъектах Российской Федерации

Субъект РФ	Доза, мЗв/год	Субъект РФ	Доза, мЗв/год
Республика Адыгея	42,69 ± 4,72	Калининградская область	11,88 ± 1,24
Республика Алтай	42,69 ± 5,09	Липецкая область	14,15 ± 2,73
Республика Калмыкия	11,15 ± 2,11	Ростовская область	<b>49,67 ± 4,12</b>
Республика Татарстан	8,22 ± 0,98	Томская область	25,26 ± 3,42
Алтайский край	19,53 ± 2,46	Тульская область	13,68 ± 1,65
Красноярский край	36,70 ± 3,12	Челябинская область	<b>89,14 ± 22,3</b>
Ставропольский край	<b>51,53 ± 7,18</b>	Забайкальский край	30,72 ± 8,65
Амурская область	17,27 ± 1,32	Москва	19,93 ± 0,42
Брянская область	8,29 ± 0,53	Санкт-Петербург	<b>50,40 ± 1,24</b>
Иркутская область	28,47 ± 3,10	Еврейская АО	48,01 ± 6,27

# Среднегодовые дозы от природных источников



В среднем по миру 2,4 мЗв/год



# Уровни радиационного риска от облучения природными источниками

- Более чем 10 млн. жителей России подвергаются радиационному риску порядка  $5 \times 10^{-4}$  или каждые 5 человек из 10 тысяч заболеют смертельным злокачественным заболеванием от облучения природными источниками в повышенных дозах (более 5 мЗв/год).
- Более чем 1 млн. жителей России подвергаются радиационному риску порядка  $1 \times 10^{-3}$  или 1 человек из 1 тысячи заболеет смертельным злокачественным заболеванием от облучения природными источниками в повышенных дозах (более 10 мЗв/год).



# Методология анализа риска

## Положена в основу

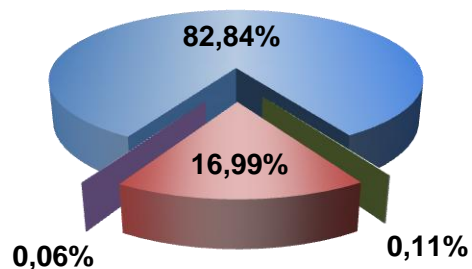
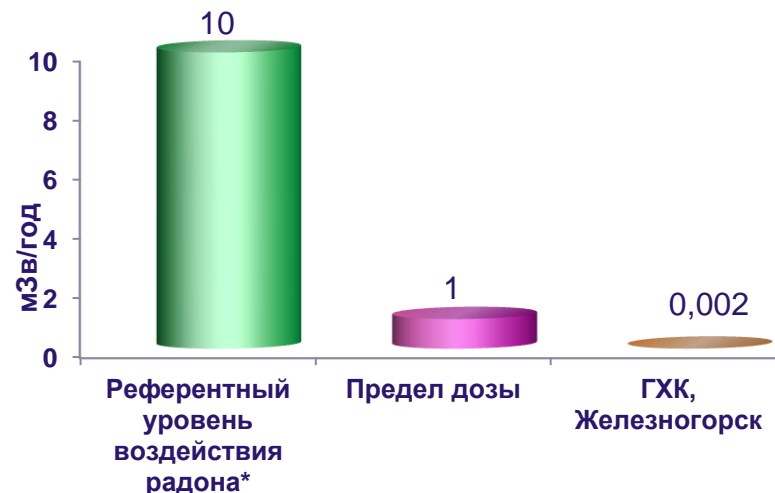
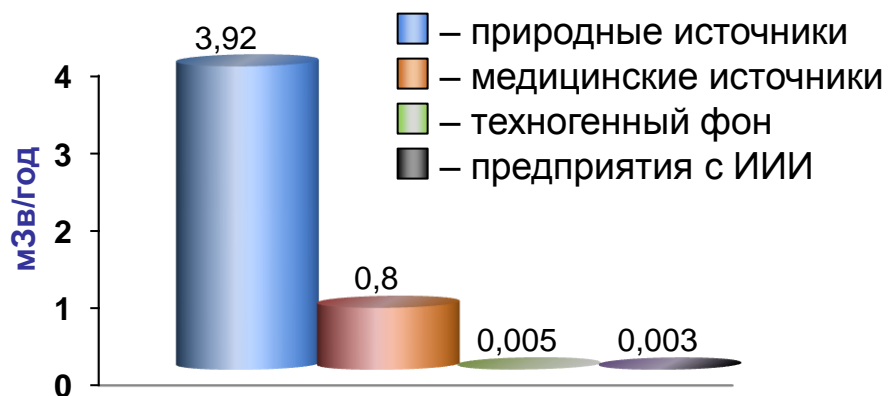
- международных рекомендаций по радиационной и химической безопасности,
- национальной системы обеспечения радиационной и химической безопасности,
  - НРБ-99 и НРБ-99/2009,
  - Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ Р 2.1.10.1920-04

# Исходные базы данных

- Данные системы социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора и государственной системы мониторинга Росгидромета за 2007–2011 гг. об уровнях химического загрязнения объектов окружающей среды:
  - атмосферного воздуха – в 8 городах края,
  - питьевой воды и почвы – на 55 административных территориях.
- Данные многолетнего радиационного мониторинга долины р.Енисей, проводимого Росгидрометом и ГХК.
- Данные радиационно-гигиенических паспортов Красноярского края.
- Результаты специальных исследований по оценке доз облучения населения, проживающего в долине р. Енисей, проведенных ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае».
- Результаты международного проекта RADSITE.

# Структура средней годовой эффективной дозы облучения населения Красноярского края

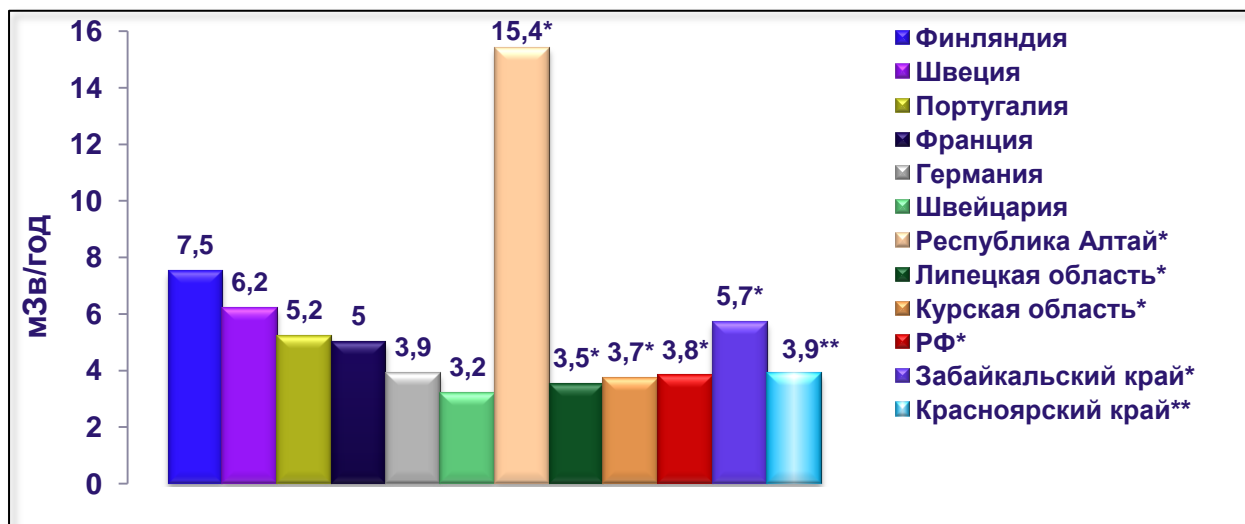
## Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в Красноярском крае за 2011 год



Основной вклад в формирование дозы вносят природные источники излучения. Доля техногенного облучения населения крайне мала.

\* – Публикация 103 МКРЗ

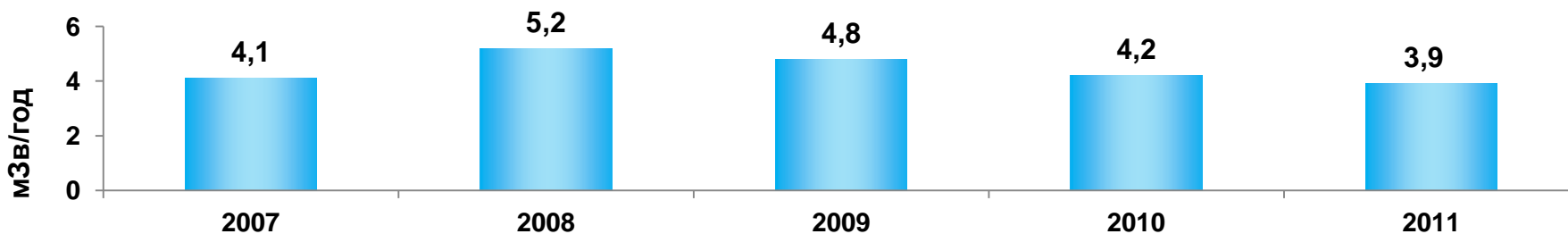
# Среднегодовые дозы облучения от природных источников населения Красноярского края, некоторых стран Европы и регионов России, мЗв/год



\* – по результатам радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах РФ за 2011 год

\*\* – по данным радиационно-гигиенического паспорта Красноярского края за 2007–2011 гг.

## Среднегодовые дозы облучения населения Красноярского края



# Дозы внутреннего облучения за счет потребления рыбы в 1962–1991 гг.

по данным Radioactivity from Military Installation Sites and Effects on Population Health. SCOPE RADSITE Edited by Rene J.C. Kirchmann and Arrigo A. Signa. Chapter 8 -. Blussels, 2002

Расстояние от места сброса, км	Средняя доза внутреннего облучения, мкЗв год <sup>-1</sup>	Диапазон доз для различных групп населения, мкЗв год <sup>-1</sup> *
5–15	290	801–630
15–20	590	160–1280
50–60	780	220–1700
100–150	260	75–580
150–250	75	20–160

\*наибольшие значения доз относятся к критической группе населения - рыбакам

После вывода из эксплуатации прямоточных реакторов годовые дозы внутреннего облучения населения, проживающего на удалении до 30 км от места сброса, за счет потребления рыбы снизились до значений 0,15–10 мкЗв/год (в среднем, 4 мкЗв/год)

# Накопленная индивидуальная и коллективная эффективная доза населения, проживающего в прибрежных населенных пунктах, за период деятельности ГХК с 1959 по 2001 год

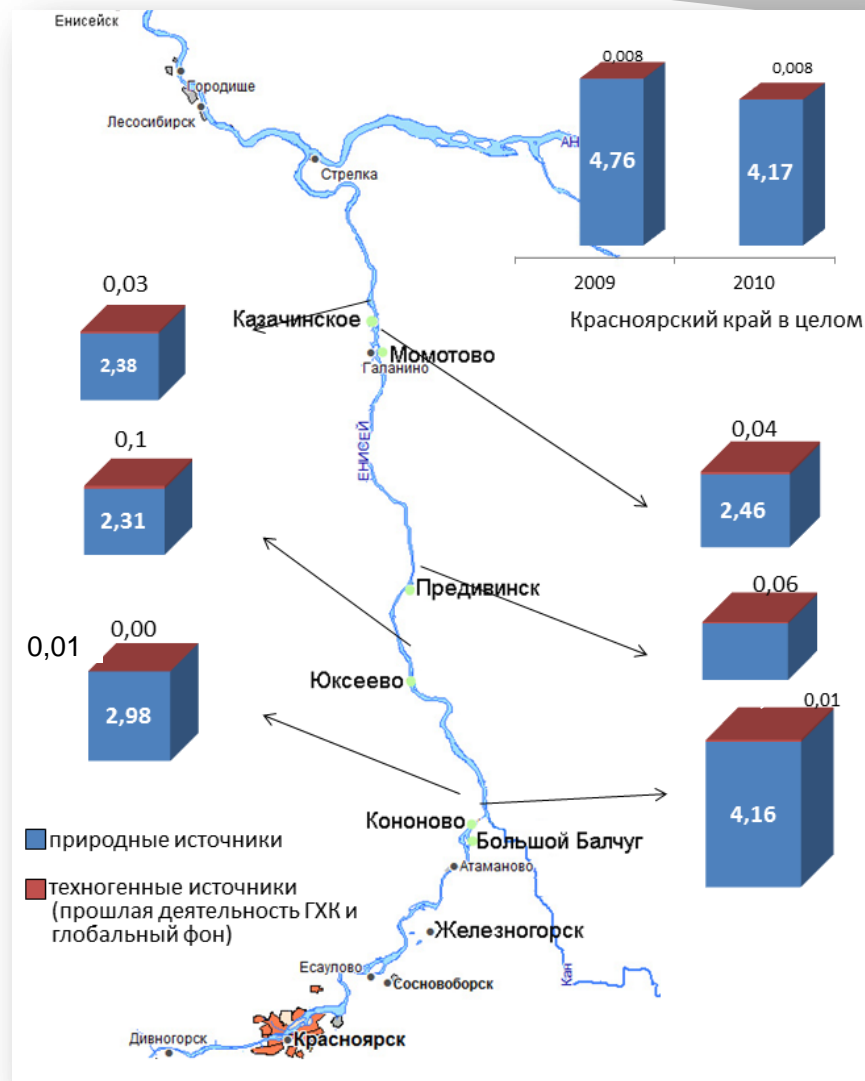
по данным Radioactivity from Military Installation Sites and Effects on Population Health. SCOPE RADSITE  
Edited by Rene J.C. Kirchmann and Arrigo A. Signa. Chapter 8 -. Blussels, 2002

Расстояние от места сброса, км	Численность населения, чел.	Средняя накопленная доза, мЗв	
		1959–1991	1992–2001
5–15	2500	11	0,4
15–25	2000	21	0,25
50–65	1700	27	0,15
65–75	700	17	0,15
90–150	8000	8,8	0,15
150–250	10000	2,9	0,15

# Средняя годовая доза облучения критической группы сельского населения (рыбаки) зоны наблюдения ГХК от природных и техногенных источников, мЗв/год

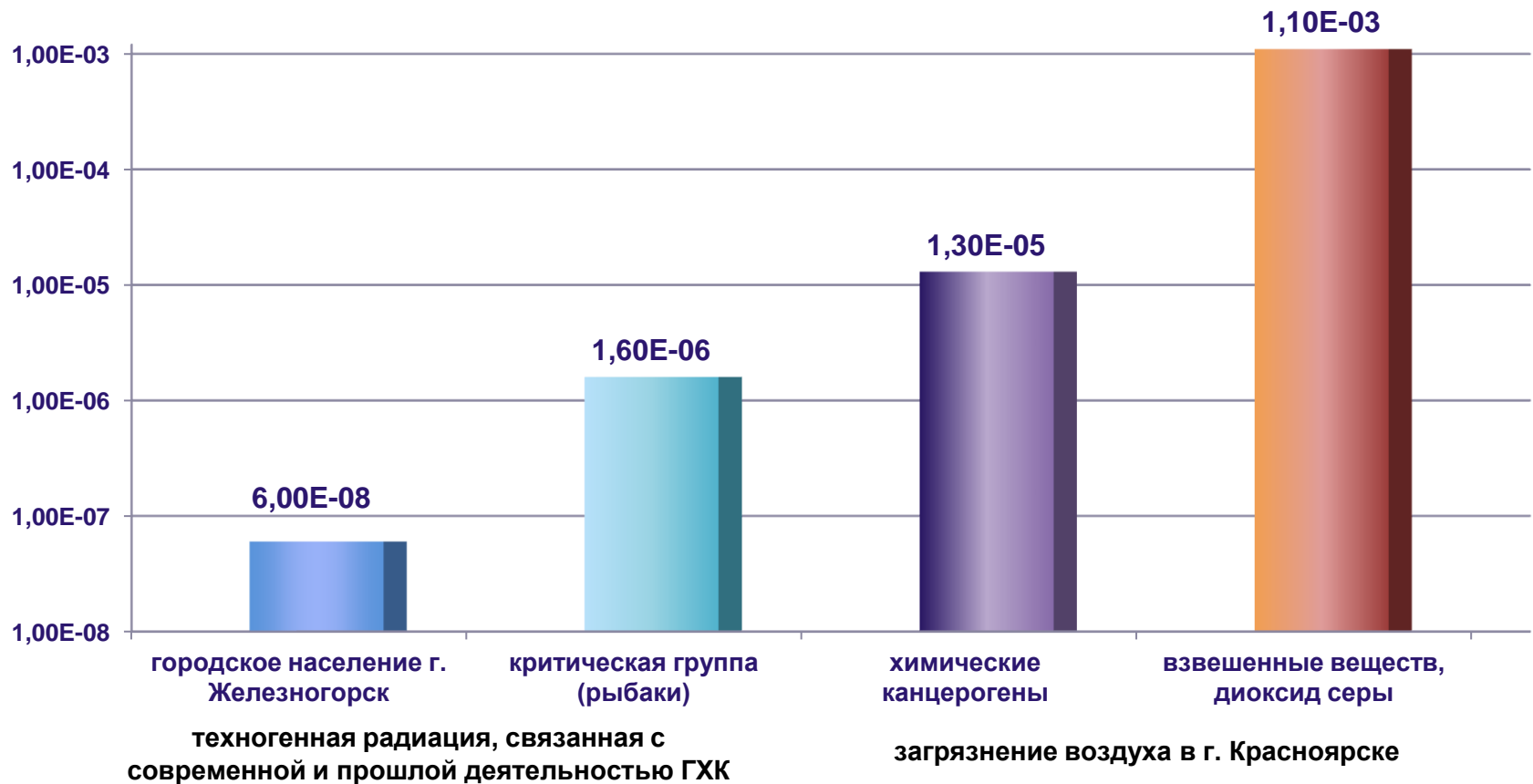
По результатам исследований ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Красноярском крае» в 2008–2010 гг. ведущим фактором облучения являются природные источники.

Техногенная составляющая дозы (глобальные выпадения и прошлая деятельность ГХК) находится в диапазоне 0,01– 0,1 мЗв/год, что в 10–100 раз ниже допустимого уровня (НРБ 99/2009) и природного фона.





# Сравнительная оценка влияния техногенной радиации и химического загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения



Индивидуальные годовые радиационные и химические риски развития рака и риски смерти от воздействия «классических» веществ, загрязняющих воздух в г. Красноярске

# Сводные результаты сравнительного анализа рисков для здоровья населения Красноярского края



# Источники ГЧ – объекты радиационно-гигиенических исследований

- Ядерные взрывы: Семипалатинск, Невада, атоллы Bikini, Anewetak, Mururoa, объекты МИЯВ (Plowshare -USA, №7 - СССР);
- Атомные комбинаты: Hanford, Oak Ridge;
- Авария на Чернобыльской АЭС.

Три волны научного и общественного интереса к ГЧ:

- с 1948 г. – радиография specks, глобальные выпадения;
- с 1974 г. – радиобиологические эксперименты для нормирования Pu и др. актинидов;
- в период 1986-1996 гг. – радиобиологическое значение ГЧ после аварии на ЧАЭС.

# Исследования альфа-излучающих ГЧ

- 70-е гг. - многочисленные радиобиологические эксперименты на лабораторных животных и культурах клеток (например, путем облучения микросферами с Pu). Исследования канцерогенеза кожи, легких.
- Разработаны теоретические модели радиационного канцерогенеза:

*Доказано, что облучение органа горячими частицами приводит к меньшей вероятности возникновения стохастических эффектов по сравнению с равномерным распределением той же активности в органе (Публикации 19,30,56 МКРЗ).*

# Исследования бета-излучающих ГЧ после аварии на Чернобыльской АЭС

- Радиозэкологические – А.А Тер-Сааков
- С/х радиобиологические – Н.А. Лоцилов
- Радиологические - А.М. Скрябин
- Дозиметрические – В.А. Кутьков
- Радиационно-гигиенические – И.А. Лихтарев

*Radiobiological impact of hot beta-particles from the Chernobyl fallout: risk assessment( IAEA Co-ordinated Research Programme)*

*Получены многочисленные натурные данные и научные результаты, в основном, для ингаляционного пути поступления ГЧ. Значительная часть этих находок может быть перенесена на ГЧ ФГУ ФЯО «ГХК».*

# Программа RADSITE-SCOPE

Входила в серию исследовательских работ, выполняемых при содействии Научного комитета по проблемам окружающей среды, например, RADTEST-SCOPE (1993-1997 гг.).

В России стартовала в ноябре 1998 г. при участии академика Б.Ф. Мясоедова, завершена в 2005 г.

В анализ включены следующие ЯО комбинаты:

- США: OAK RIDGE, SAVANNAH RIVER, HANFORD
- Великобритания: SELLAFIELD
- Германия: WISMUT
- Франция: MARCOULE
- Военные программы Индии и Китая
- СССР: г. Электросталь, г. Красноярск-26

# Консервативная оценка до населения

Расстояние от места сброса, км	Численность населения, чел	Индивидуальная накопленная доза, мЗв		Коллективная доза, чел.-Зв
		1959÷1991 гг.	1992÷2001 гг.	
5÷15	2500	11	0.4	28.5
15÷25	2000	21	0.25	42.5
50÷65	1700	27	0.15	46.2
65÷75	700	17	0.15	12.0
90÷150	8000	8.8	0.15	70.8
150÷250	10000	2.9	0.15	30.5
5÷250	24900	9,1	0,17	230,5



# Приближенные оценки годовой дозы от ГЧ

**Внешнее облучение:**

$$10^5 \text{Бк/част.} \cdot 100 \text{част./км}^2 \cdot 10^{-6} \text{км}^2/\text{м}^2 \cdot 10^{-6} \text{мкГр/ч} \cdot 8,8 \cdot 10^3 \text{ч/год} \cdot 0,2 \text{мкЗв/мкГр} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ мкЗв/год.}$$

$$\text{МАЭД (над ГЧ)} = 0,008 \text{ мкЗв/ч}$$

**Внутреннее облучение (ингаляционное поступление):**

$$10 \text{Бк/м}^2 \cdot 10^{-10} \text{м}^{-1} \cdot 8 \cdot 10^3 \text{м}^3/\text{год} \cdot 4,8 \cdot 10^{-3} \text{мкЗв/Бк} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ мкЗв/год.}$$

**Внутреннее облучение (заглатывание):**

$$\text{Для 1 ГЧ: } 10^5 \text{Бк/(част)} \cdot 1,3 \cdot 10^{-2} \text{мкЗв/Бк} \cdot 0,1 = 130 \text{ мкЗв/год.}$$

**Вероятность заглатывания одной ГЧ:**

$$P = (0,4 \text{кг/год} \cdot 100 \text{ част./км}^2) / 2 \cdot 10^8 \text{кг/км}^2 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ част./год.}$$

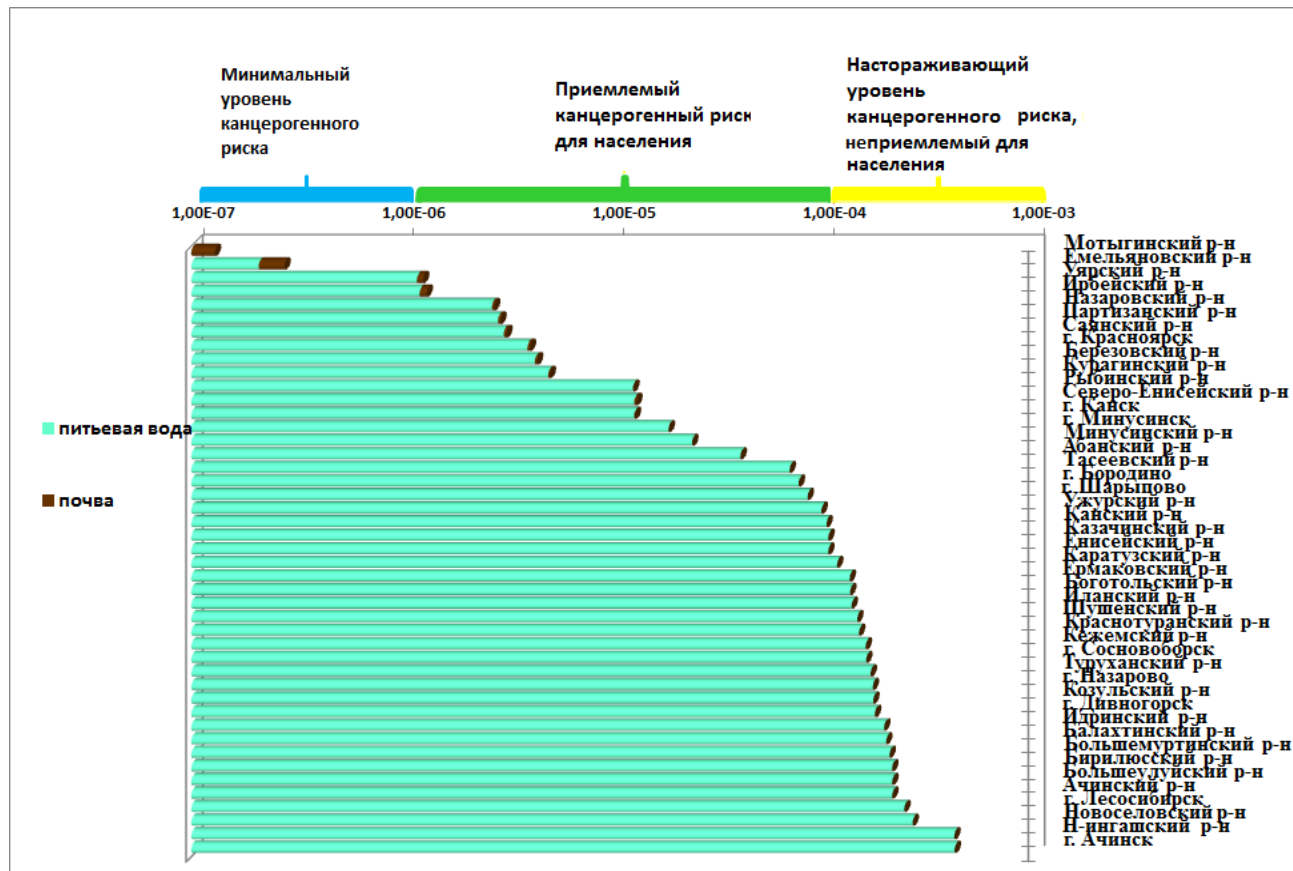
**Обобщенный риск потенциального облучения:**

$$\text{ОРПО} = 0,05 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ част./год} \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} = 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ смертей/год.}$$

# Усредненные годовые дозы внешнего облучения населения за 1962-1991 гг.

Расстояние от места сброса, км	Местоположение НП	Средняя доза/ доза критгруппы, мЗв/год
5÷10	Левый берег	0,044 /0,350
10÷25	Правый берег	0,033 /0,090
	Левый берег	0,017 /0,080
50÷250	-	0,015 /0,060
850÷1500	-	0,010 /0,030

# Суммарный индивидуальный канцерогенный риск с учетом поступления из воды и почвы



Периодический контроль - 4% территорий Края

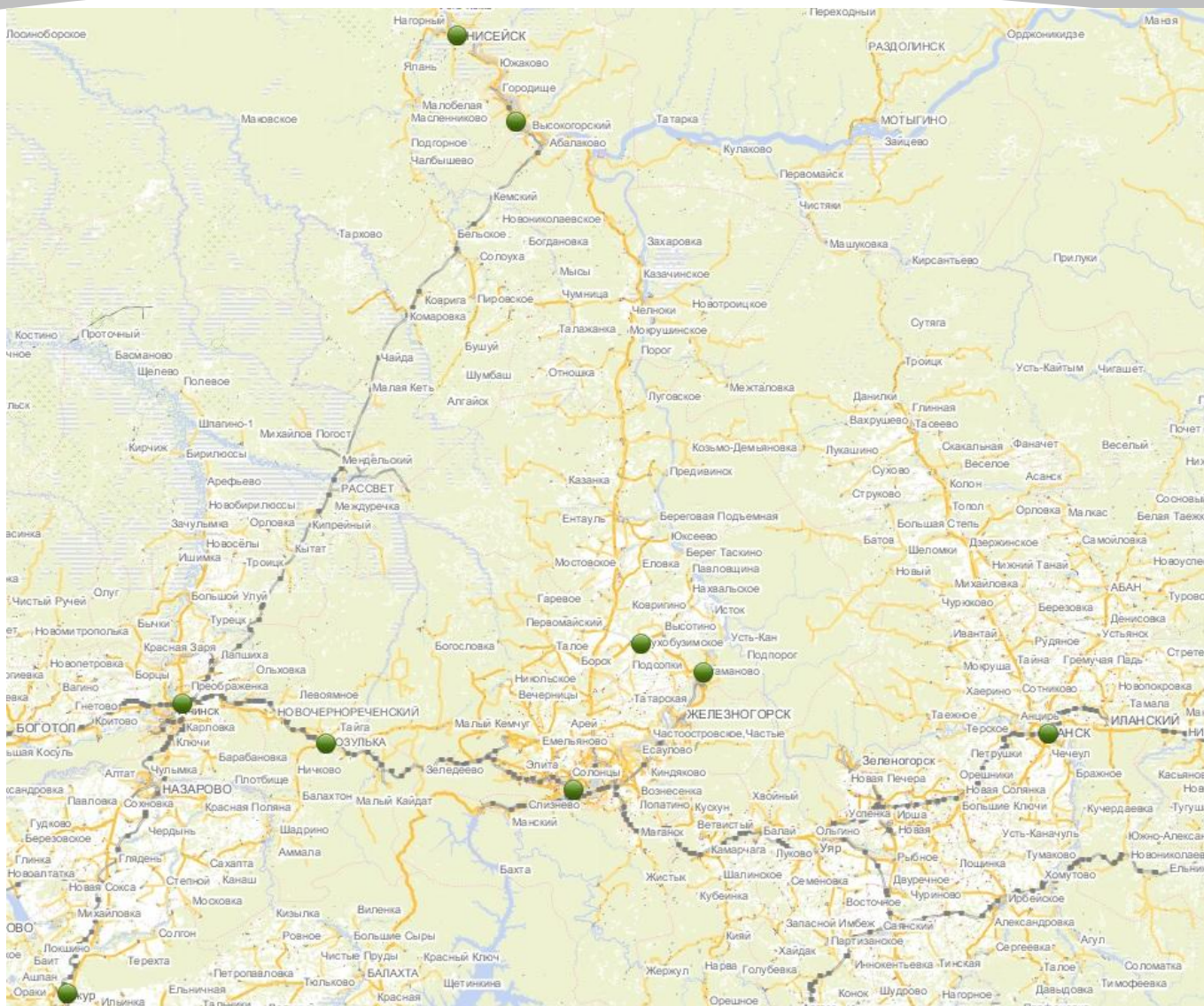
Постоянный контроль+ дополнительные мероприятия - 18% территорий Края

Постоянный контроль+ плановые мероприятия – 78% территорий Края

## Выводы

- ГЧ не являлись и не являются основным источником облучения населения в зоне влияния ФГУП ФЯО «ГХК»
- Радиогенное влияние ГЧ на здоровье населения, проживающего в зоне влияния ФГУП ФЯО «ГХК» на многие порядки ниже уровня пренебрежимо малого риска, установленного НРБ-99/2009

# Территориальная система радиационного мониторинга (КСМ-3Н Красноярского края)





# Сайт Russianatom.ru

