



**Перспективы развития  
атомной энергетики.  
Есть ли база  
для конструктивной  
общественной дискуссии?**

**Р.В. Арутюнян,  
д. ф.-м. н., профессор**

# Взгляд на атомную энергетику «Атомщиков»

Калининская АЭС



Сухое хранилище ОЯТ  
(ГХК, Россия)



Хамаока (Япония)



Маркуль (Франция)



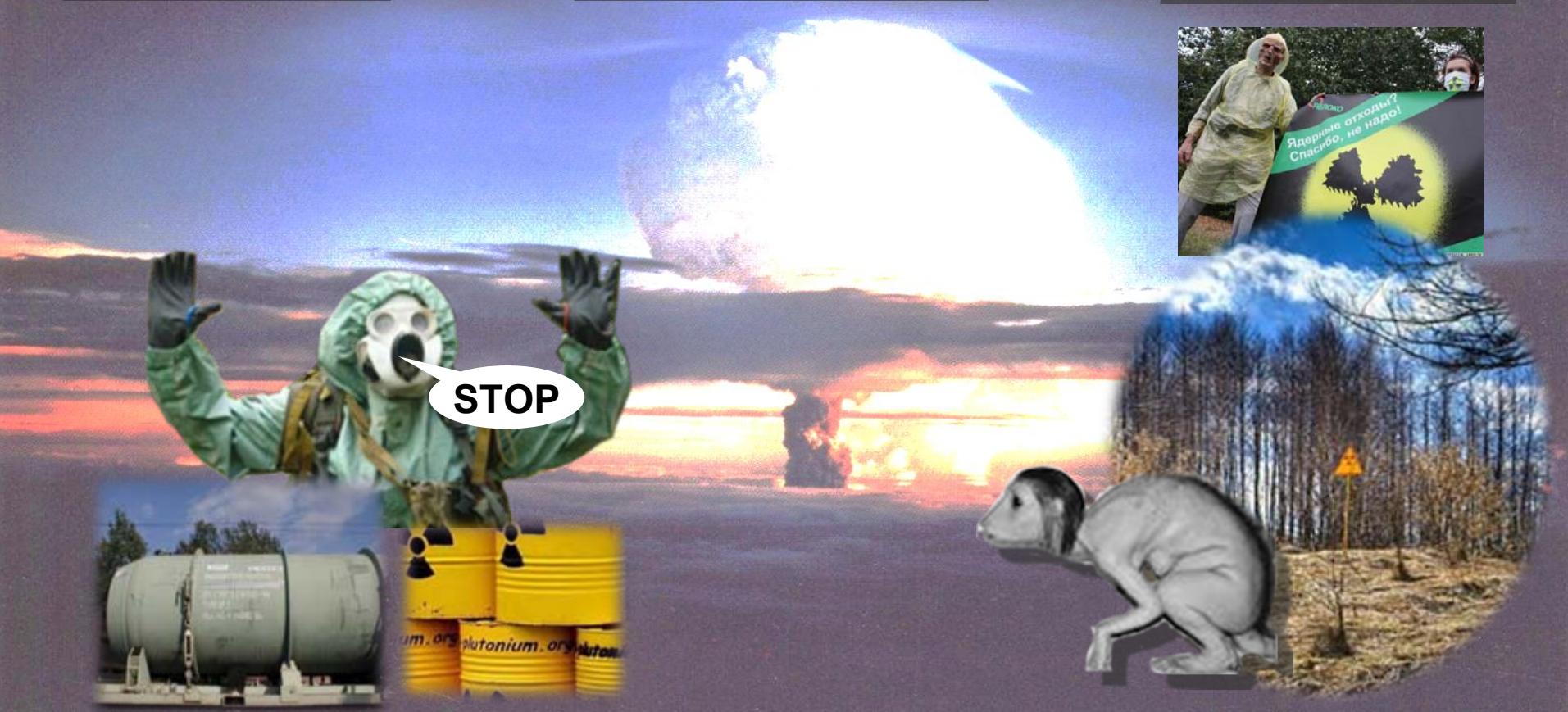
Завод по переработке ОЯТ на мысе «ля Аг» (Франция)



Локальное, Региональное, Глобальное

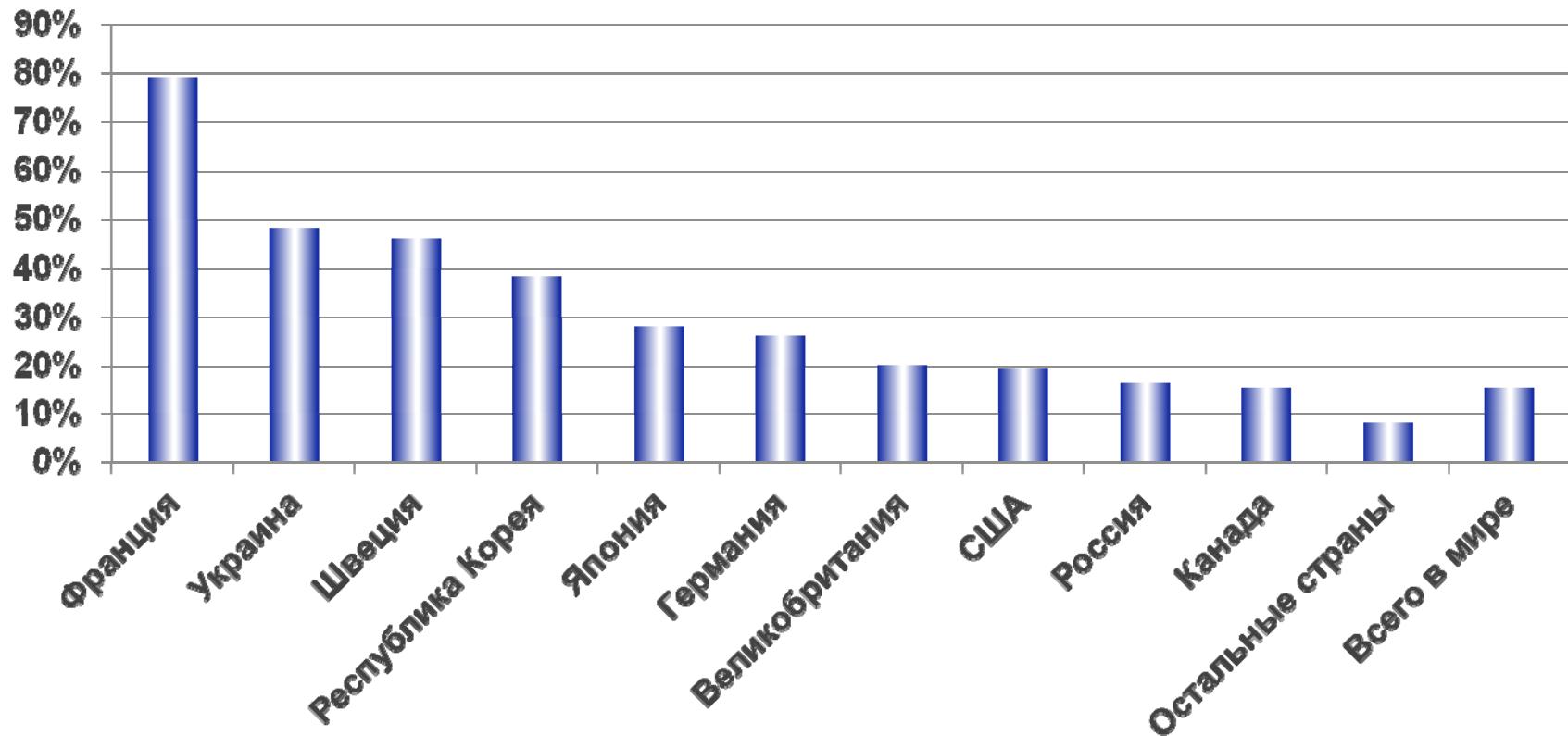


# Взгляд на атомную энергетику «экологов»



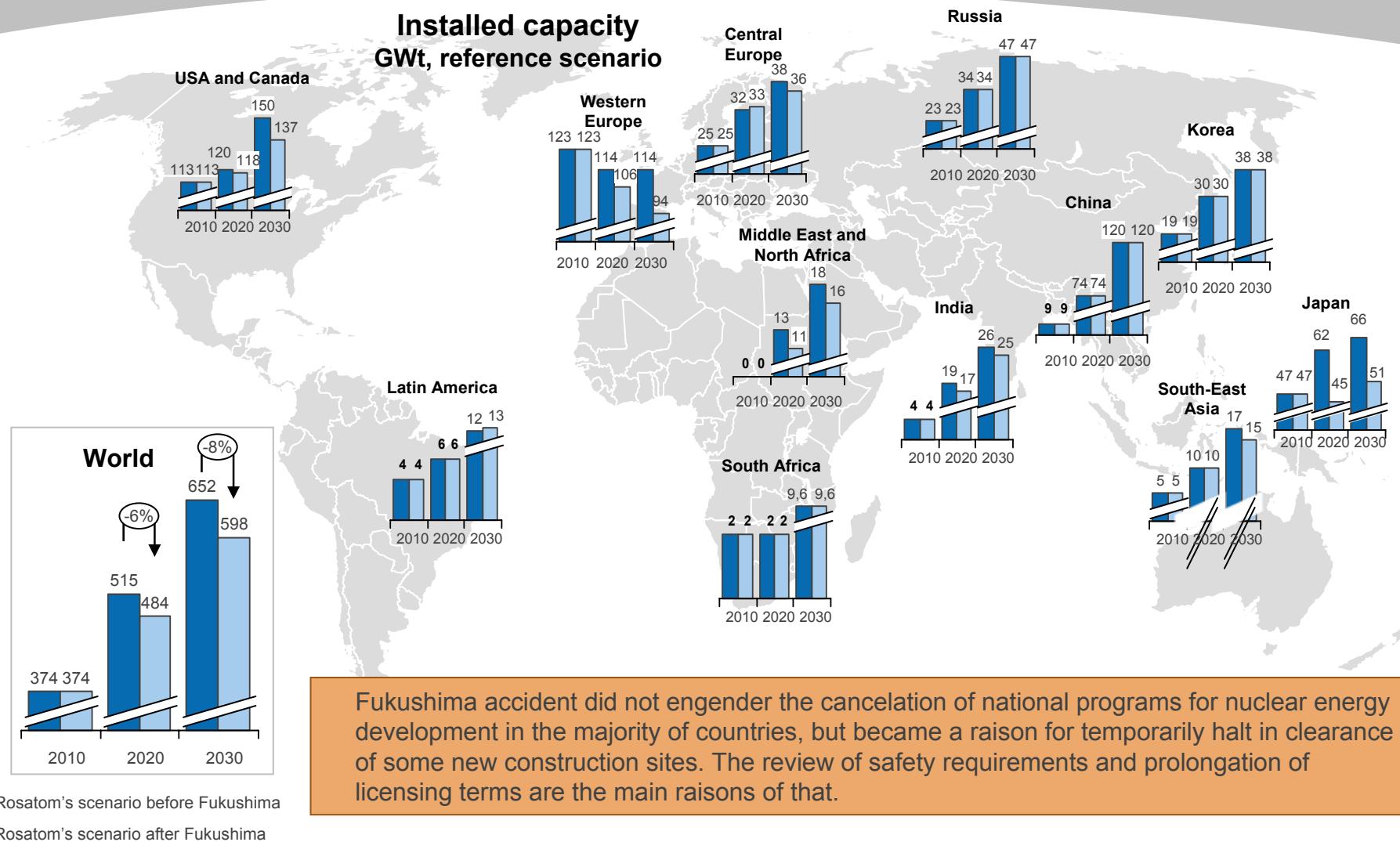
# 10 стран – основных производителей электроэнергии на АЭС

(доля в общем производстве электроэнергии, %)



Комиссариат по атомной энергии Франции, 2005 г.

# Despite the Fukushima Accident Nuclear Energy is Expected to Grow Further



Source: Rosatom

The content of this presentation is for discussion purposes only, shall not be considered as an offer and doesn't lead to any obligations to Rosatom and its affiliated companies. Rosatom disclaims all responsibility for any and all mistakes, quality and completeness of the information.

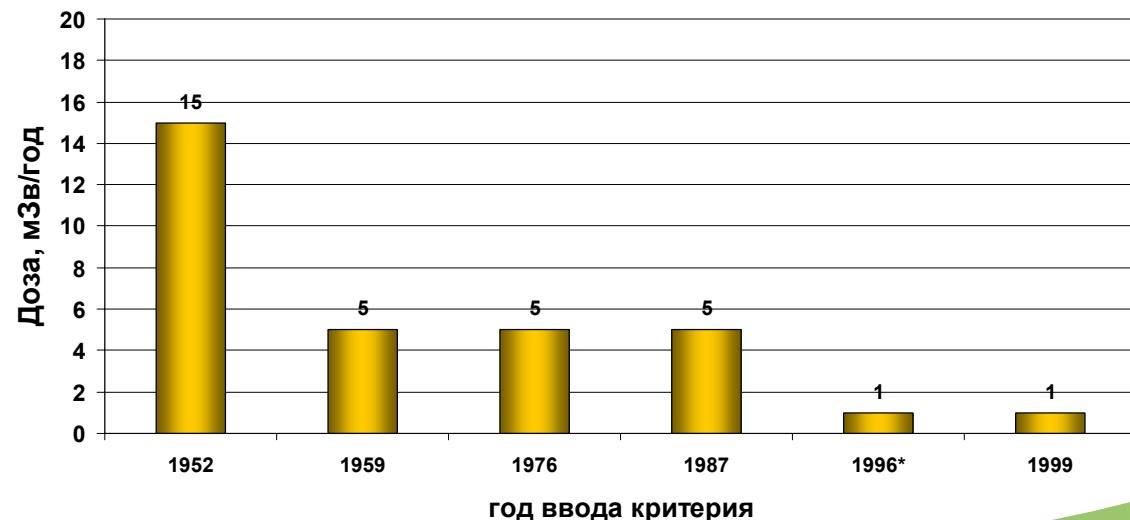
# Эволюция дозовых пределов для персонала и населения



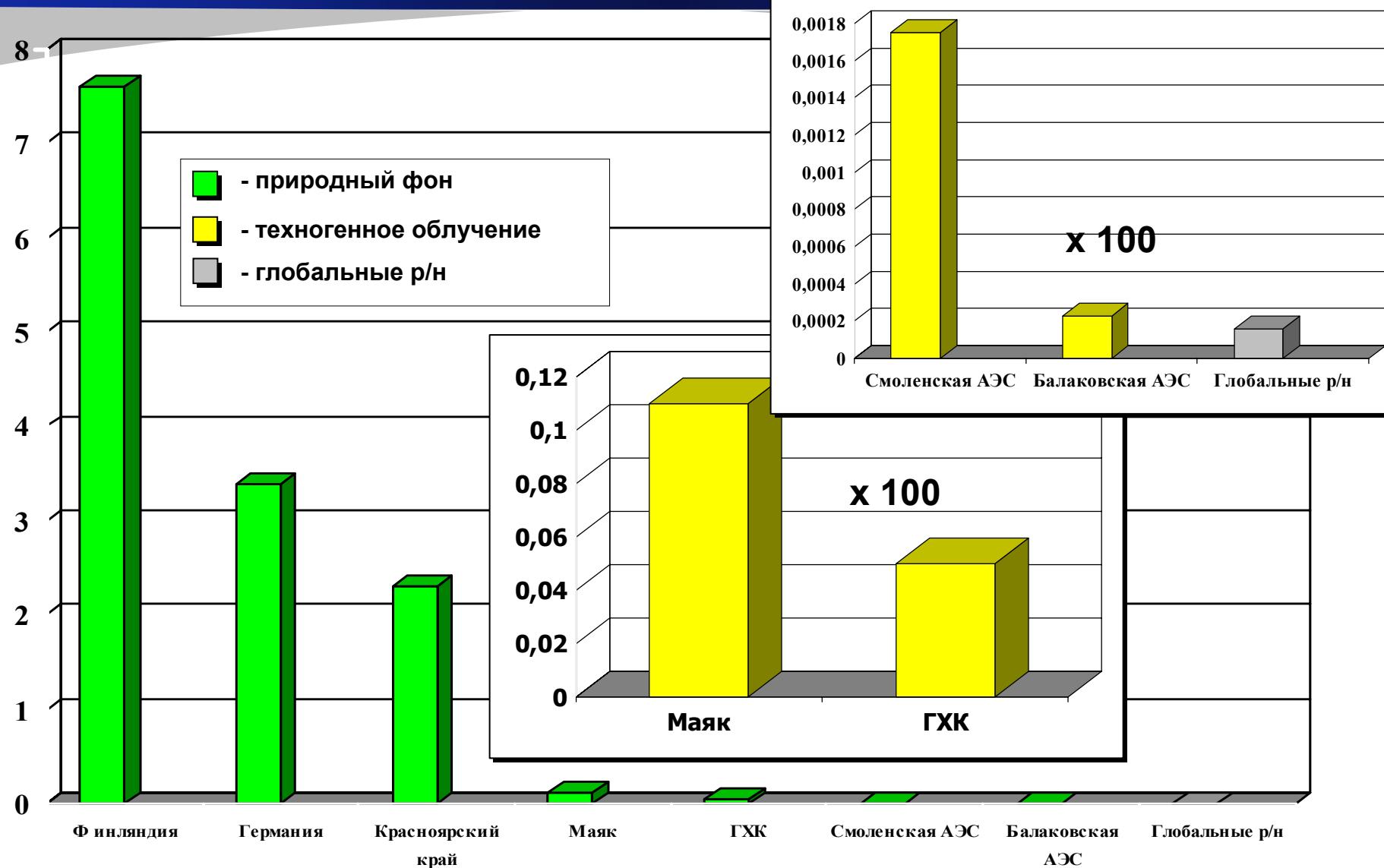
Персонал

США – 50 мЗв/год

Население



# Среднегодовые дозы облучения населения от различных источников (мЗв/год)

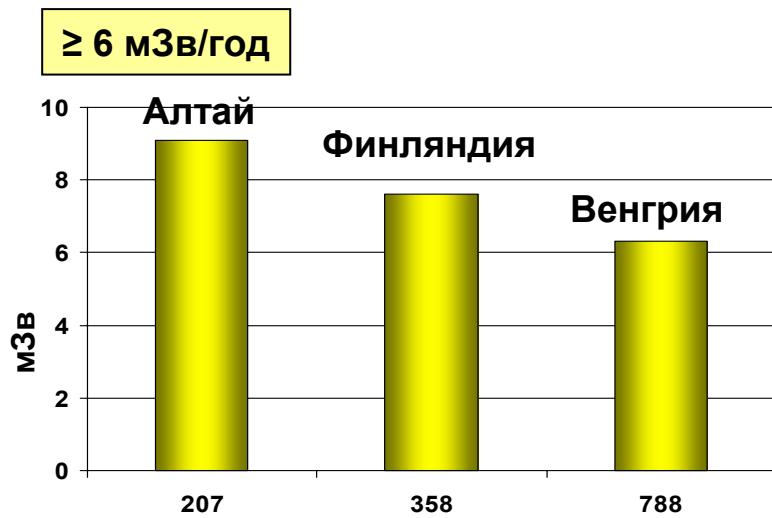
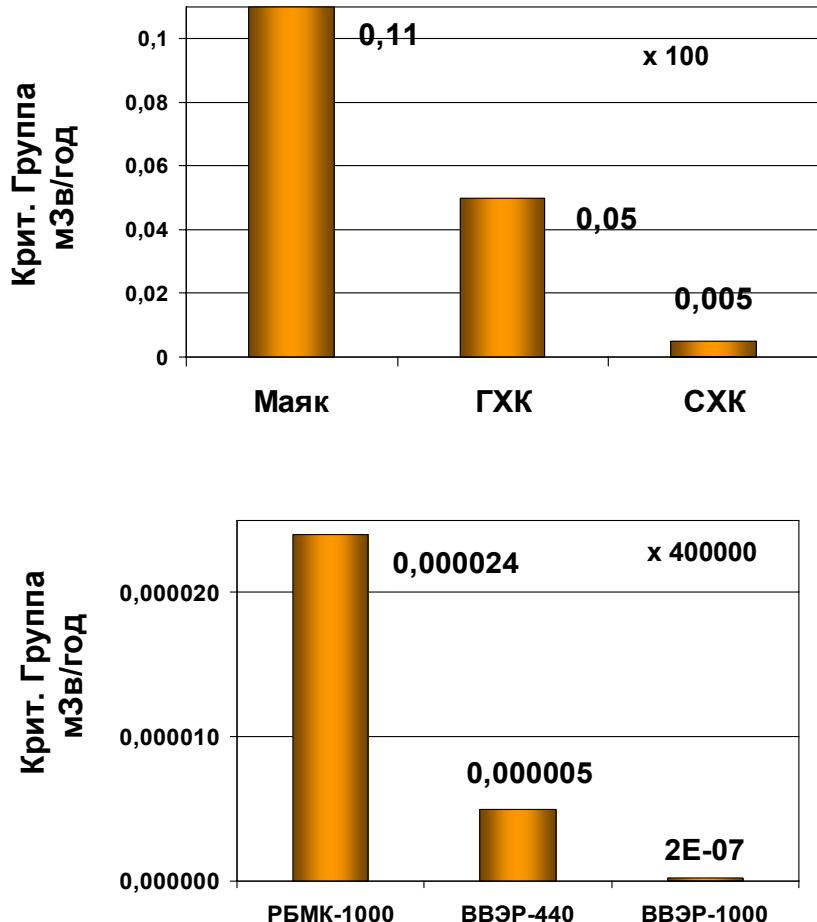


# Структура облучения населения некоторых субъектов Российской Федерации в 2007 г. \*)

Область	Облучение от природных ИИИ, %	Медицинское облучение, %	Облучение от глобальных выпадений РВ и прошлых радиационных аварий, %	Техногенное облучение от предприятий, использующих ИИИ, %
Зона ЧАЭС				
Брянская	76,06	13,5	10,42	0,02
Калужская	83,61	15,2	1,07	0,09
Зона ПО «Маяк»				
Свердловская	80,3	19,4	0,17	0,06
Челябинская	89,8	10,0	0,12	0,02
Зона влияния испытаний ЯО				
Алтайский край	83,93	16,0	0,10	0,01
Действующие АЭС				
Воронежская	75,51	24,2	0,20	0,14
Мурманская	79,5	19,7	0,56	0,29
Смоленская	72,9	26,2	0,46	0,38

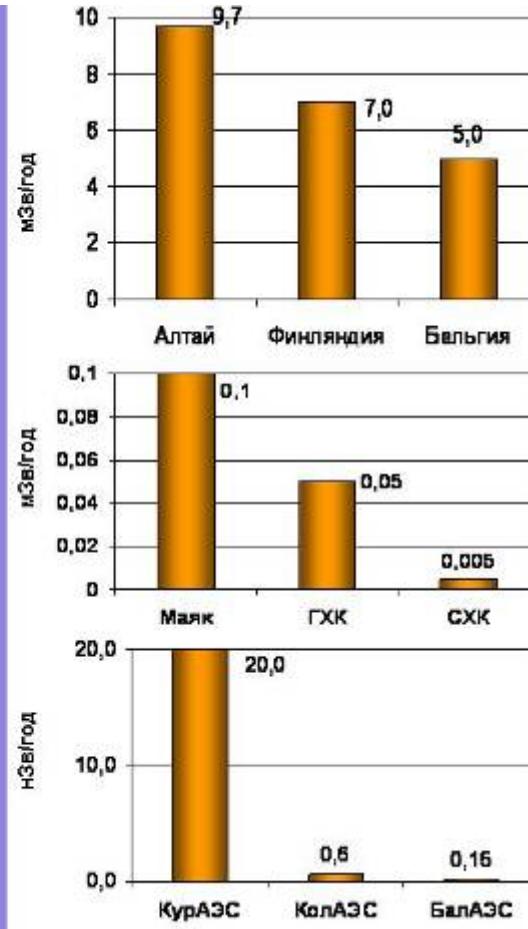
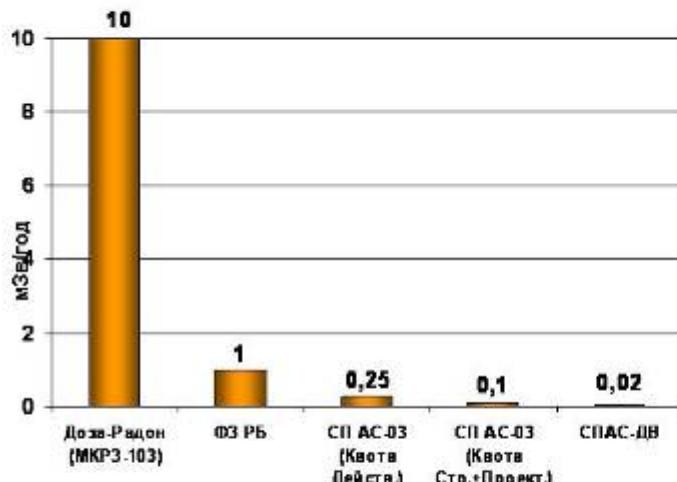
\*)Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации, Москва, 2008 г.

# Дополнительные дозы облучения от ЯРОО в сравнении с дозами облучения населения некоторых стран от естественных источников радиации.



Численность жителей, проживающих  
в условиях облучения от  
естественных источников радиации,  
включая радон, дозой более 6  
мЗв/год

# 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 ( $10+10$  мЗв) 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, Колской 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.

# Радиационные инциденты с пострадавшими в АЭП СССР – России за 50 лет

(данные ГНЦ ИБФ на март 2001 г.)

Классификация инцидентов	Кол-во инцидентов	Кол-во пострадавших с клиническими симптомами (ОЛБ+МЛП*)		
		Общее	В т.ч. С ОЛБ	В т.ч. умерших
<b>1. Радиоизотопные установки и их источники (всего)</b>	<b>88</b>	<b>163</b>	<b>45</b>	<b>16</b>
В. т.ч.: Co-60	17	28	15	3
Cs-137	19	59	13	9
Ir-192	34	50	10	1
Другие $\gamma$ -излучатели	8	10	2	-
( $\gamma$ - $\beta$ )-излучатели	2	2	-	-
$\beta$ -излучатели	8	14	5	3
<b>2. Рентгеновские установки и ускорители (всего)</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>1</b>	<b>-</b>
В т.ч. рентгеновские установки	26	26	-	-
Ускорители электронов	9	10	1	-
Ускорители протонов	3	3	-	-
<b>3. Реакторные инциденты и потеря контроля над критичностью</b>	<b>34</b>	<b>83</b>	<b>73</b>	<b>13</b>
В т.ч. потеря контроля над критичностью	16	42	42	10
Реакторные инциденты	18	41	31	3
<b>4. Аварии на АПЛ</b>	<b>4</b>	<b>133</b>	<b>85</b>	<b>12</b>
<b>5. Другие инциденты(всего)</b>	<b>11</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
Итого без Чернобыльской аварии	175	434	210	43
Чернобыльская авария	1	134	134	28
<b>ИТОГО</b>	<b>176</b>	<b>568</b>	<b>344</b>	<b>71</b>

\* - исключая случаи с МПЛ на предприятиях ПО «Маяк» 1949-1956 г.г.,  
не включенные в регистр ГНЦ-ИБФ

Дата	Объект	Характеристика инцидента	Кол-во пострадав.	Последствия
1993, апрель	СХК г.Северск, Томской обл.	Разрушение технологического аппарата с выбросом активности	нет	Загрязнение участка территории предприятия, СЗЗ и ЗН без переоблучения персонала и населения
1993, август	НИИАР г.Димитровград, Ульяновской обл.	Работа с облученной мишенью на канале реактора	1	Лучевая травма с ампутацией пальцев
1995, май	Смоленская АЭС	Установка выпавшего из дефектоскопа гамма-источника	1	Лучевой ожег пальцев руки
1997, май	НЗХК г.Новосибирск	СЦР в технологической емкости	нет	Без последствий
1997, июнь	ВНИИЭФ г.Саров	СЦР при работе на критсборке	1	Переоблучение с летальным исходом
1998, май	НЗХК	Пожар на литиевом производстве с разрушением здания	3	Термические ожоги, 1 чел. погиб
1999, январь	Кал АЭС	Вспышка паров растворителя при покраске вентблока	4	Термические ожоги, 3 чел. погибли
1999, июнь	СХК г.Северск, Томской обл.	Выброс облученных блоков из канала реактора	нет	Облучение двух человек без медицинских последствий
2000, сентябрь	ПО «Маяк», Челябинская обл., Белоярская АЭС, Свердловская обл.	Развал энергосистемы Ю.Урала и аварийный останов реакторных установок	нет	Без последствий

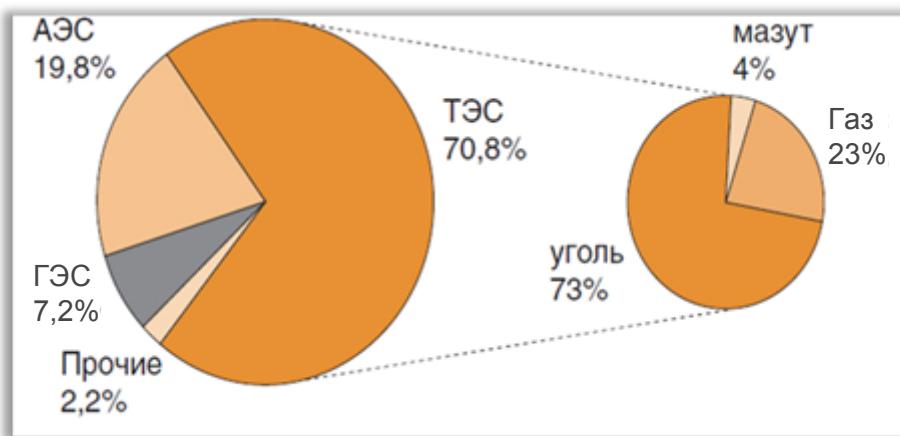
# Сводные данные по крупным (> 5 жертв) авариям в энергетике в 1969–2000 гг

Вид энергетики	Страны ОЭСР			Страны не входящие в ОЭСР		
	Аварии	Жертвы	Жертвы/ГВт	Аварии	Жертвы	Жертвы/ГВт
Уголь	75	2259	0.157	1.044	18,017	0.597
Уголь (данные для Китая, 1994–1999 гг.)				819	11,334	6.169
Уголь (без учета Китая)				102	4831	0.597
Нефть	165	3713	0.132	232	16,505	0.897
Природный газ	90	1043	0.085	45	1000	0.111
СНГ	59	1905	1.957	46	2016	14.896
Гидроэнергетика	1	14	0.003	10	29,924	10.285
Атомная	0	0	-	1	31*	0.048
Итого	390	8934		1480	72,324	

\* Только мгновенные смерти

# Воздействие тепловых электростанций на здоровье населения США <sup>\*)</sup>

Воздействие на здоровье	Количество случаев в год
Смерть	23 600
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.)

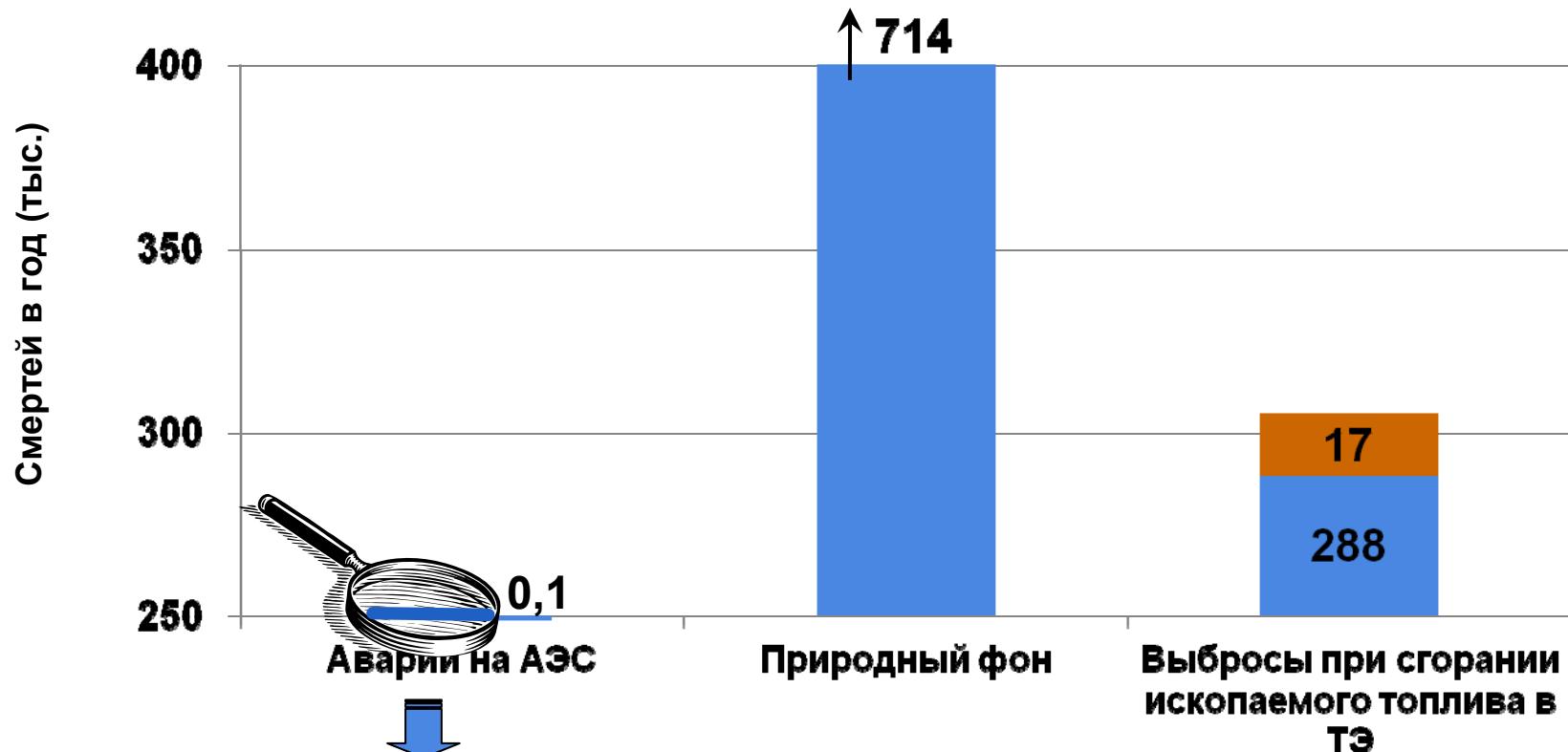
<sup>\*)</sup> Данные управления по охране окружающей среды США

# 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

# Годовые ущербы здоровью от АЭ, ТЭ и радиационного фона

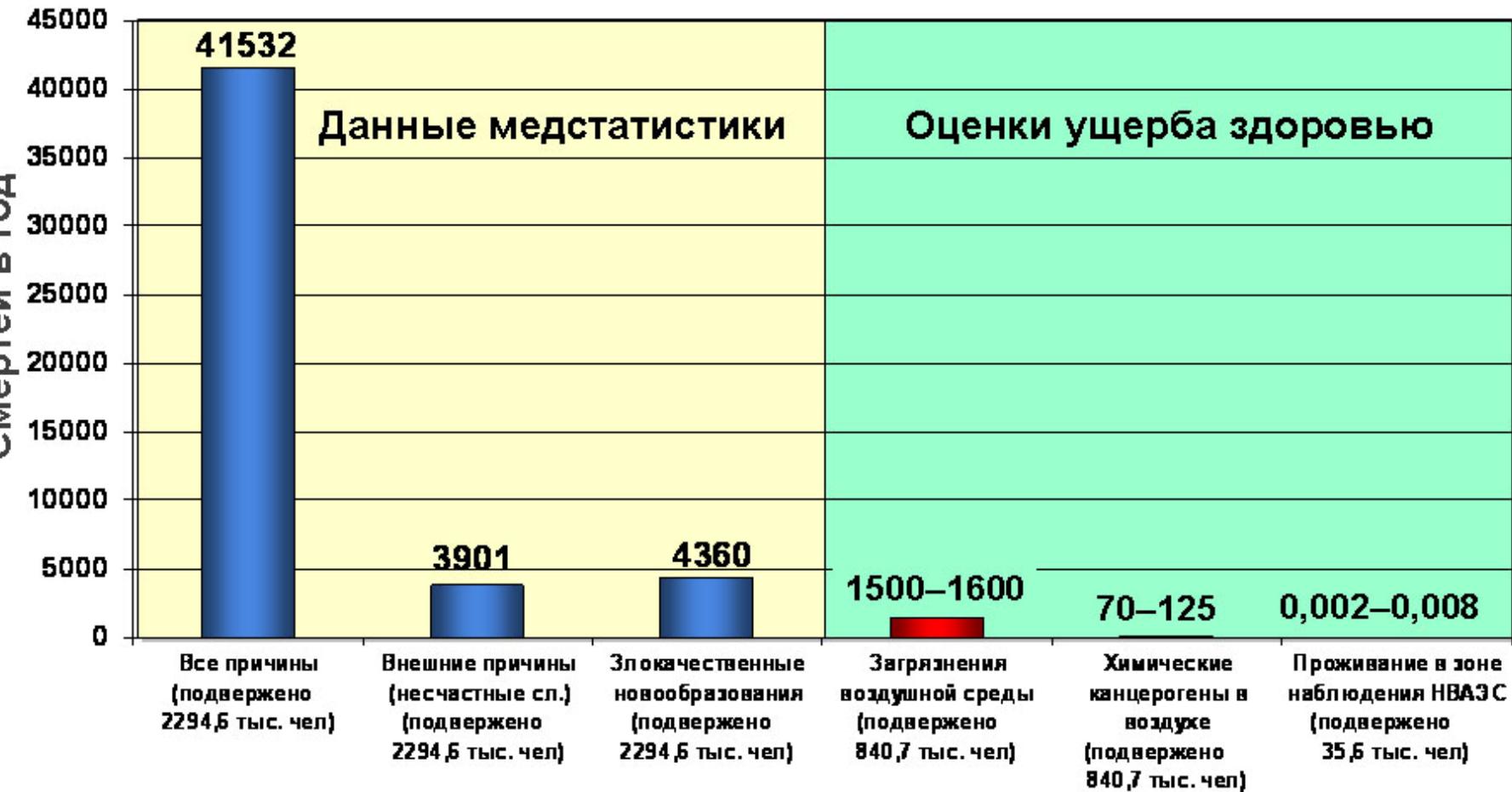
Energy-Related Severe Accident Database,  
Paul Scherrer Institut (PSI), IBRAE RAS, NEA OECD



Максимальные гипотетические риски смертей за 90 лет,  
приведенные к годовому значению от аварии на АЭС

— при замещении АЭС на ТЭС

# Сводные результаты сравнительного анализа рисков для населения Воронежской области



# 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

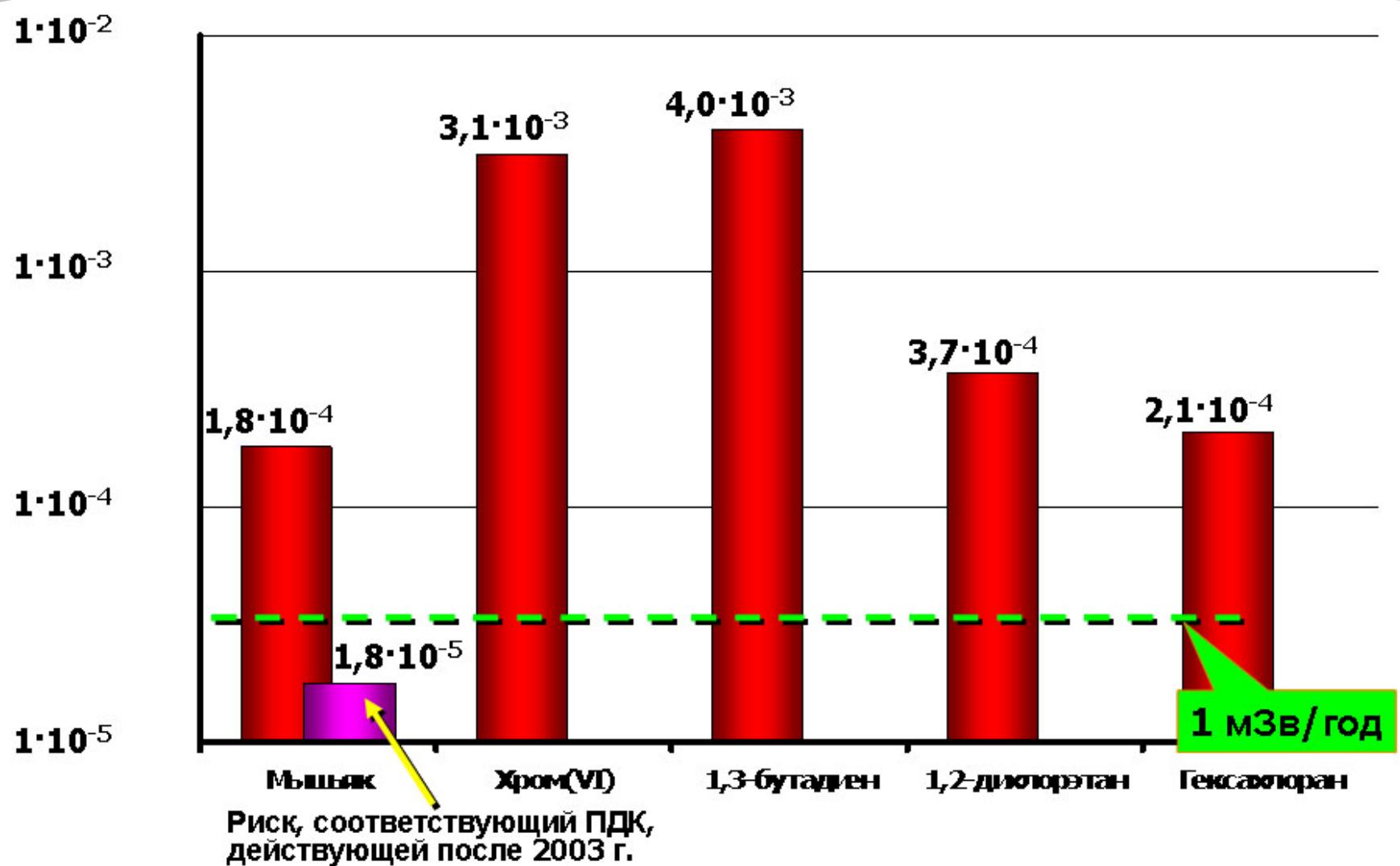
\*\* – экстраполировано на все городское население

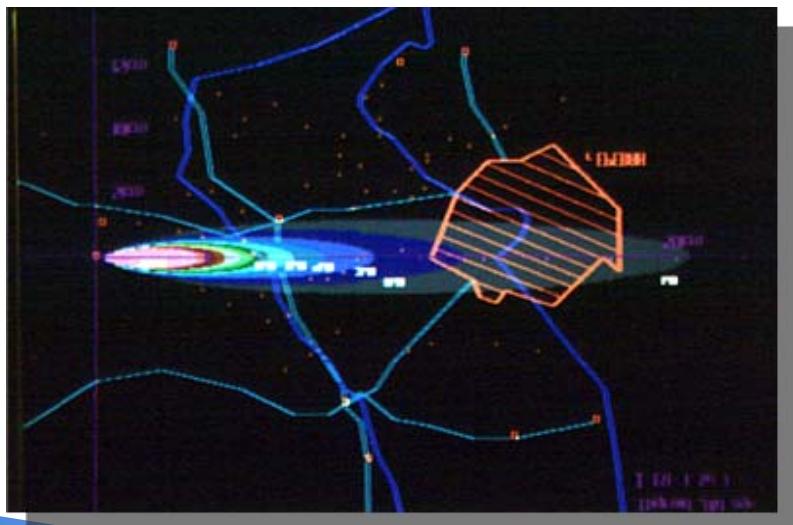
N. Künzli «Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: A European assessment»,

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

\*\*\*\* – по данным Минздрава России

# Индивидуальные канцерогенные риски смерти от годовой допустимой дозы облучения населения (1 мЗв/год) и годовой экспозиции некоторых химических веществ на уровне ПДК в воздухе населенных мест

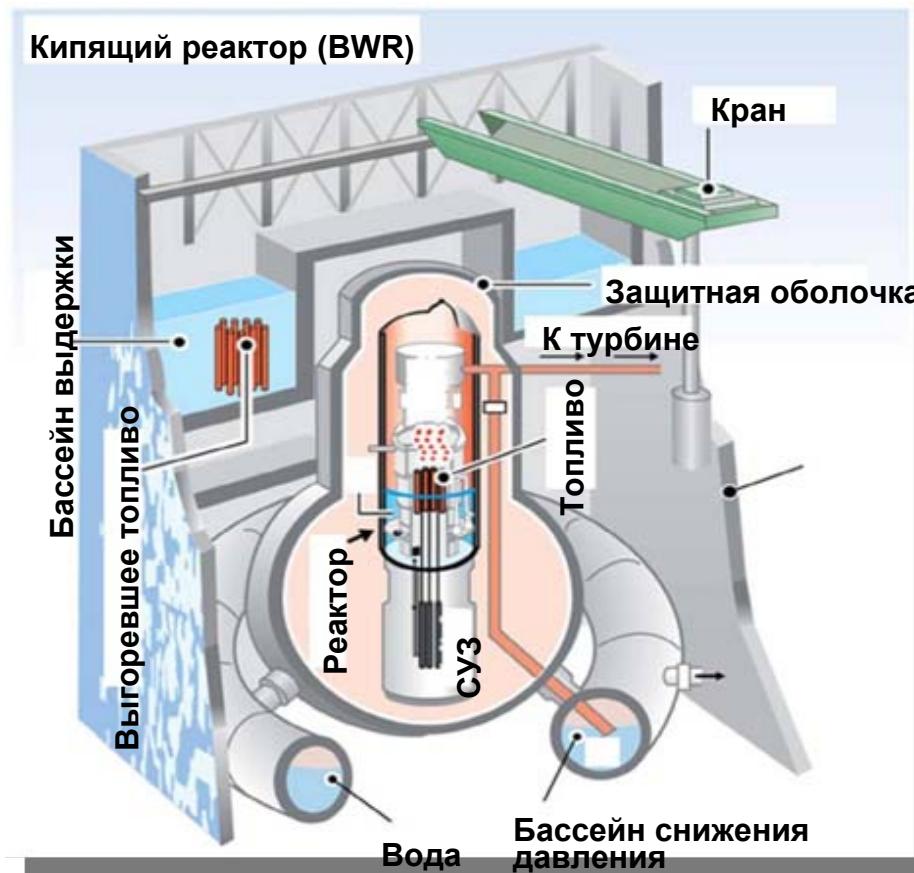




- 1. ТКЦ ИБРАЭ РАН с 13.00 11 марта 2011 г. работает в режиме повышенной готовности в полном штатном составе круглосуточно.**
- 2. В соответствии с регламентом ТКЦ обеспечивает поддержку НЦУКС МЧС России по следующим задачам:**
  - прогнозам развития ситуации на АЭС Японии (во взаимодействии с Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом»);**
  - прогнозам развития радиационной обстановки в зоне АЭС (Фукусима-1, Фукусима-2) при неблагоприятных сценариях развития ситуации на АЭС;**
  - прогнозам развития радиационной обстановки на территории Российской Федерации при неблагоприятном развитии ситуации на АЭС Японии (совместно с Росгидрометом (НПО «Тайфун»)).**

# Блоки АЭС Фукусима 1

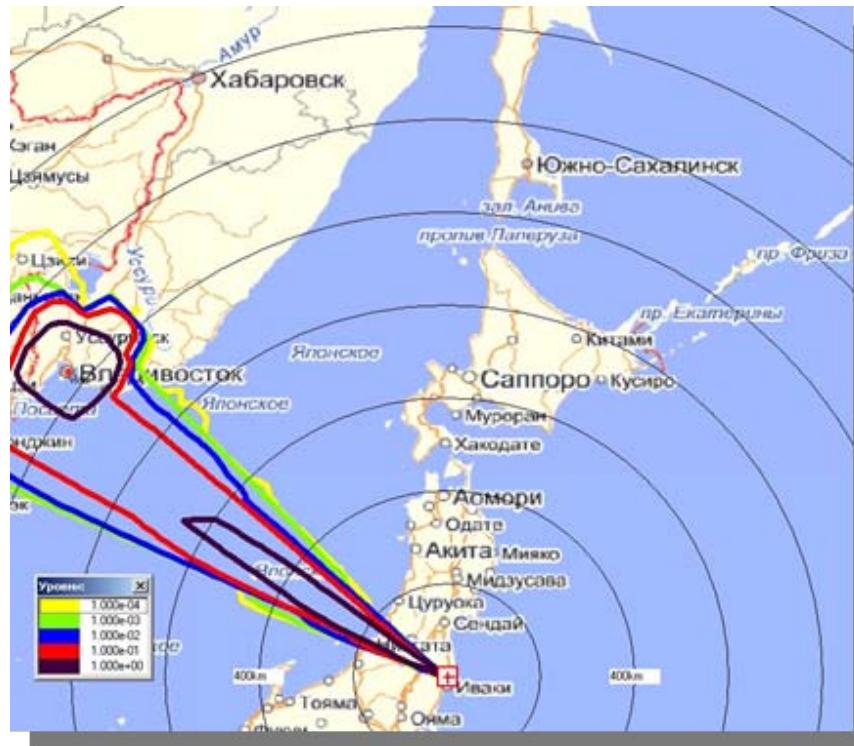
- Блок I Mark I BWR/3 (439MW), 1971
- Блоки II – IV Mark I BWR/4 (760MW), 1974



# Наихудший сценарий развития аварии на АЭС Фукусима 1

Для расчета выбраны наихудшие (маловероятные) метеоусловия:

Скорость ветра – 10 м/с, , направление ветра - 115 градусов, категория устойчивости – Е, локальные осадки в районе г.Владивостока интенсивностью 10 мм/ч.



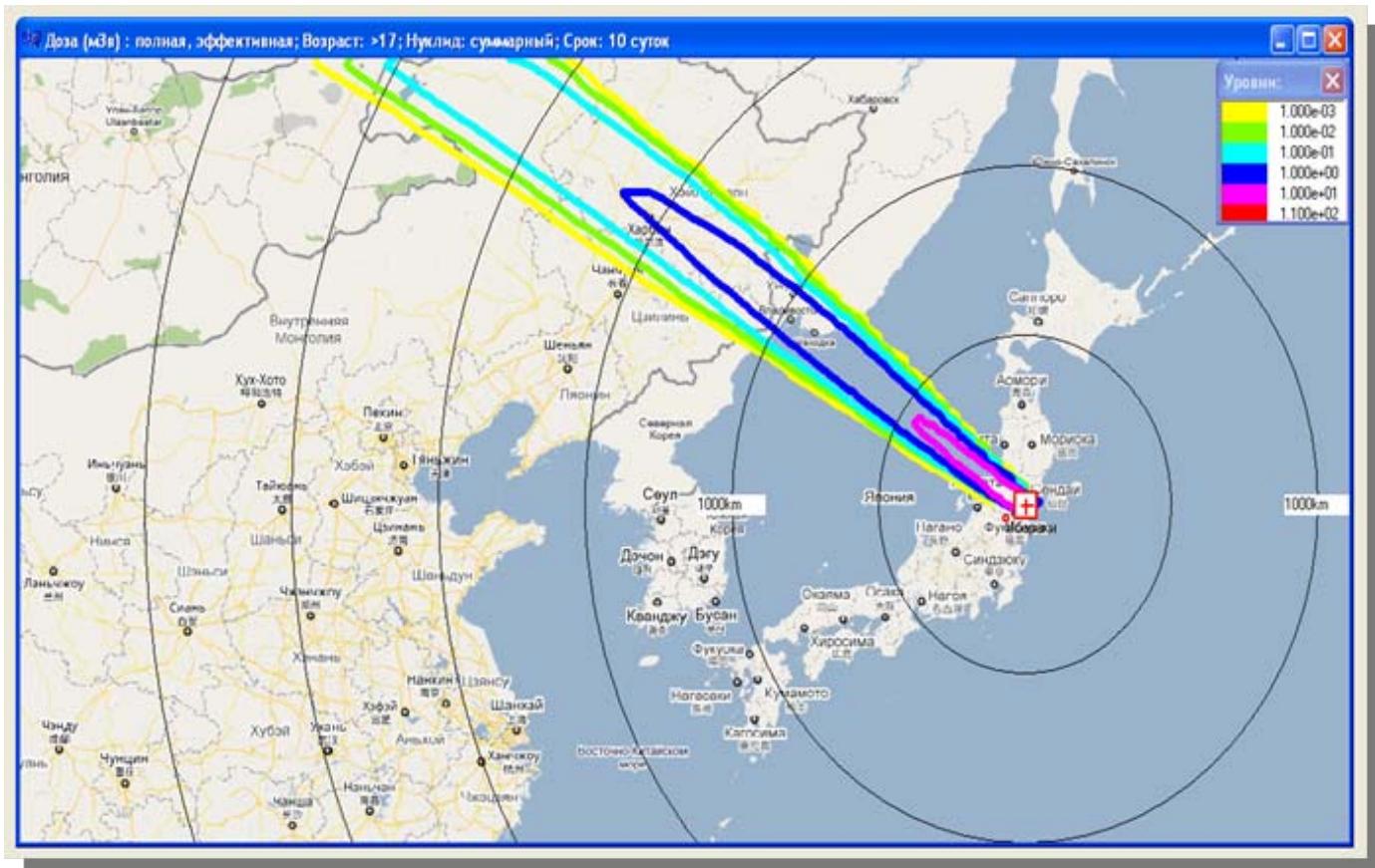
Полная эффективная годовая доза (дети, 1-2 года) в пределах 10 мЗв

# Оценка доз на территории Дальнего Востока

Мощность дозы внешнего облучения (на 1 сутки) – 7,4 мкЗв/ч

Полная эффективная доза облучения, дети 1-2 (10 суток) – 2,4 мЗв

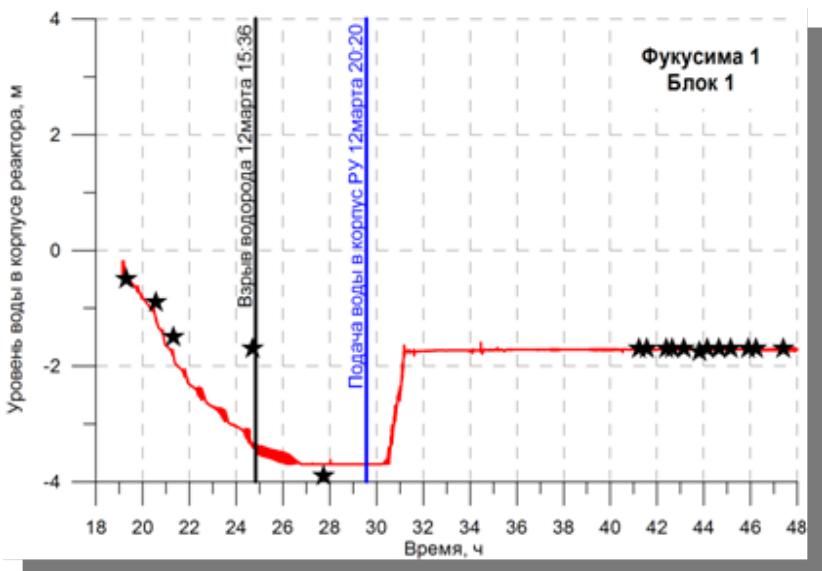
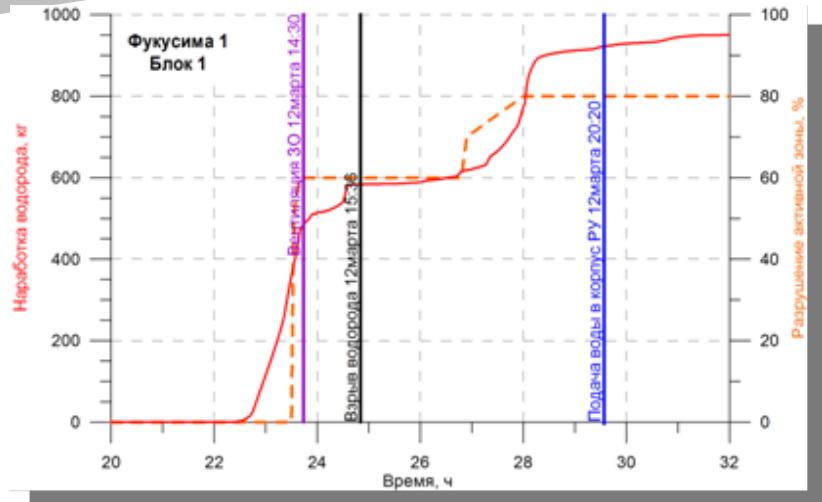
Прогнозируемая полная эффективная доза за 10 суток (мЗв)



# Хронология событий на АЭС Фукусима-1 с 12 по 16 марта

№ события	Блок	Дата и Время (по Японии)	Событие	Примечание
1	1	12 марта 15:36	Взрыв	Возможен барботаж
2	3	14 марта 11:01	Взрыв	Возможен барботаж
3	2	15 марта 06:10	Взрыв	Возможен прямой выход
4	4	15 марта 06:00	Взрыв	Возможен прямой выход
5	2	15 марта 08:25	Белый дым	Источник неизвестен
6	4	15 марта 09:38	Пожар	Прямой выход
7	4	16 марта 05:45	Пожар	Прямой выход
8	3	16 марта 08:34	Белый дым	Источник неизвестен
9	3	16 марта 10:00	Белый дым	Источник неизвестен

# 1 блок

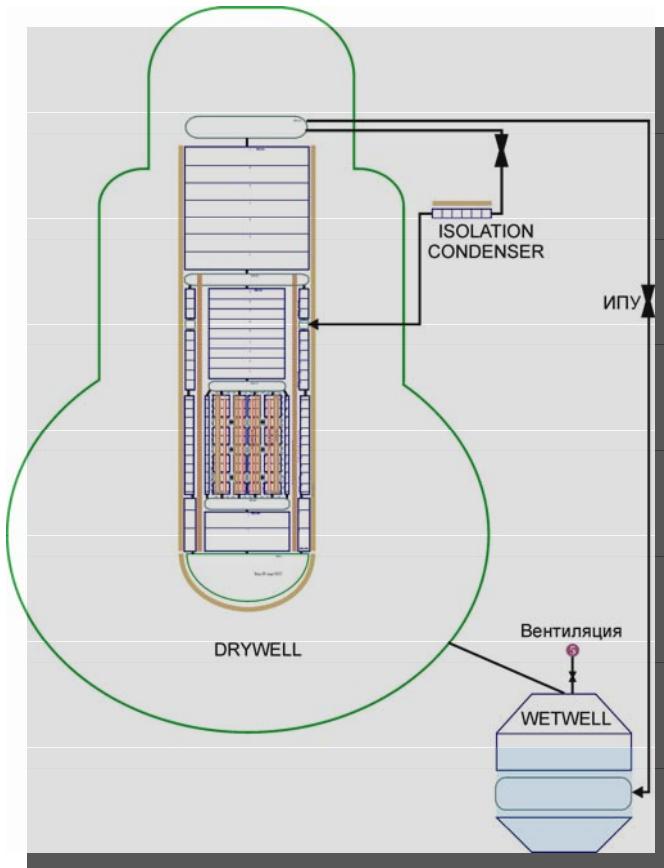


- Снижение уровня теплоносителя в активной зоне.
- Постепенное повышение давления в защитной оболочке.
- Рост температуры и образование водорода.
- Взрыв водорода и выход продуктов деления
- Дальнейшее разрушение активной зоны.

# Расчетный анализ аварии в 1–3 блоках и 1–4 бассейнах выдержки ОЯТ (СОКРАТ)

Без учета подачи воды для охлаждения

	Расчетное время взрыва (водорода для 1, 2, 4)	Фактическое время взрыва (водорода для 1, 2, 4)
Блок 1	12.03 15:16	12.03 15:36
Блок 2	Превышение давления в ЗО 15.03 05:45	15.03 06:14
Блок 3	14.03 08:00	14.03 11:01
Блок 4 (бассейн выдержки)	15.03. 4:00-05:00	15.03. 6:00



Расчетная модель РУ ВWR/3  
для кода СОКРАТ

# АЭС 1



# АЭС 1



# Радиационная обстановка на площадке АЭС Фукусима 1

## Расчетное допустимое время работы персонала



Установленный  
предел доз  
для аварийного  
персонала:  
**250 мЗв**

Допустимое  
полное время  
пребывания  
ликвидаторов  
в данном месте:

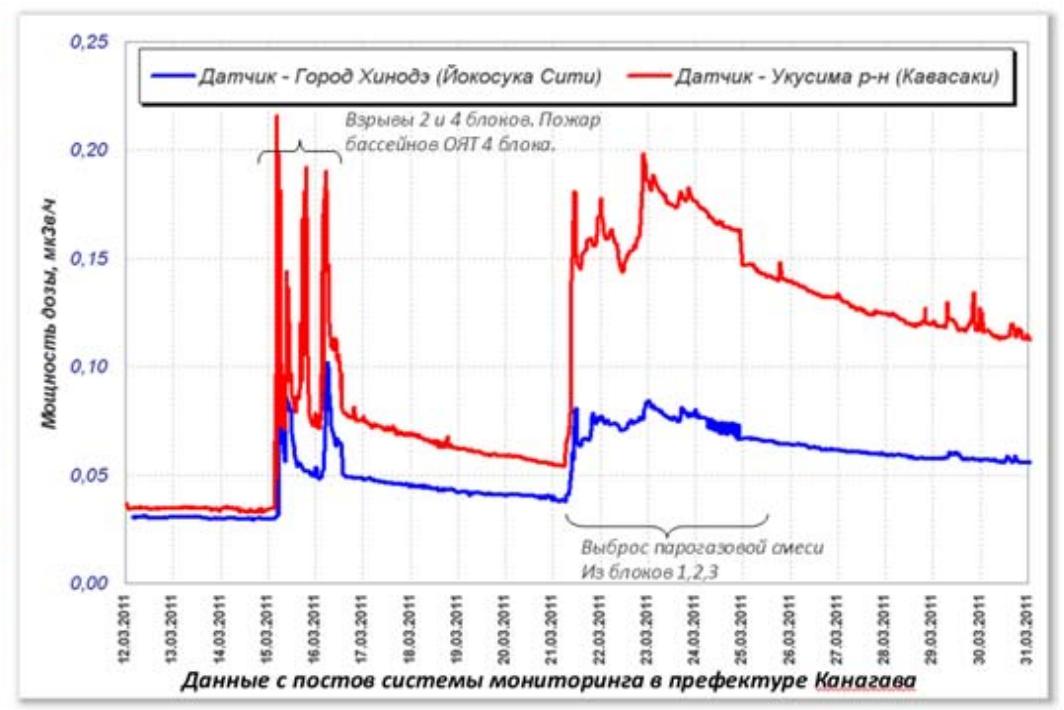
**270 час.**

**1600 час.**

# Расчетные оценки доз облучения населения в префектуре Канагава (Токио)

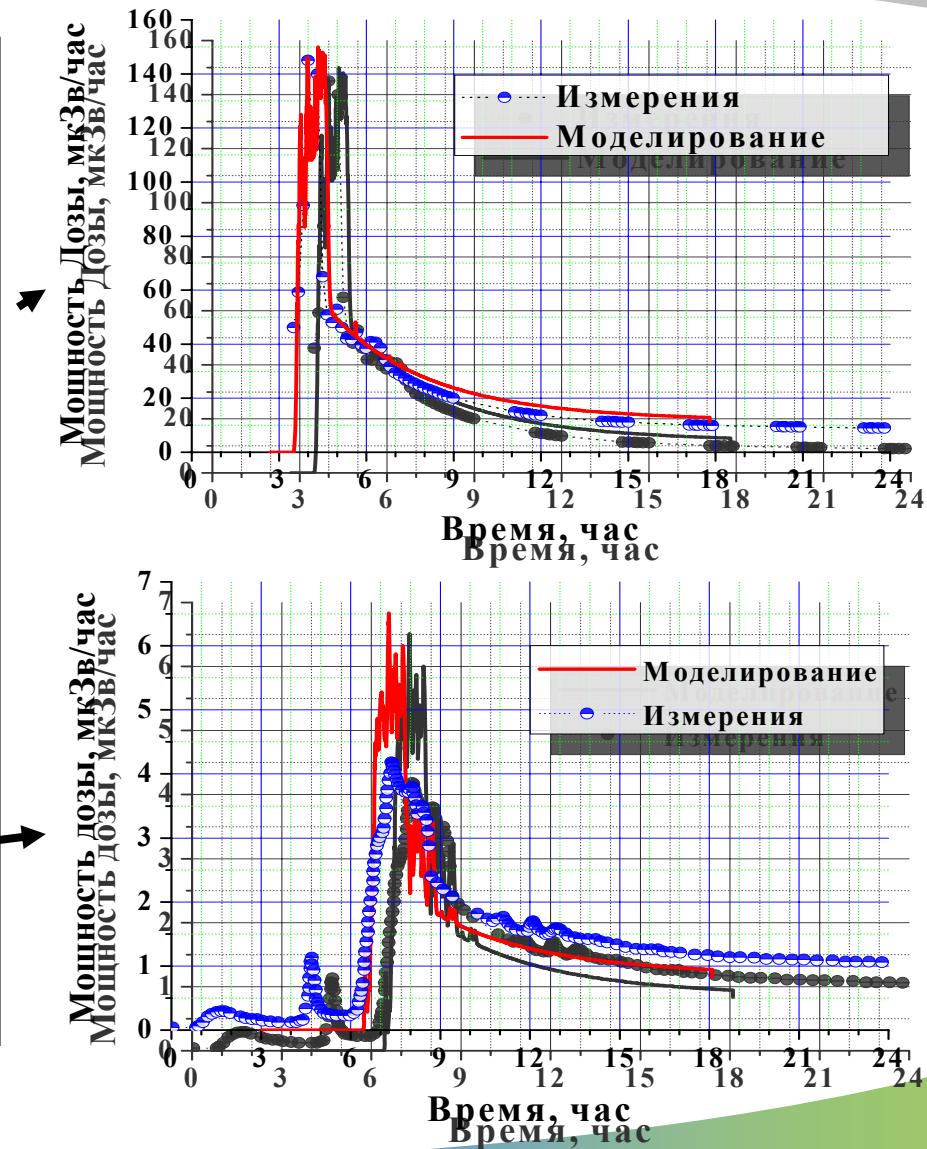
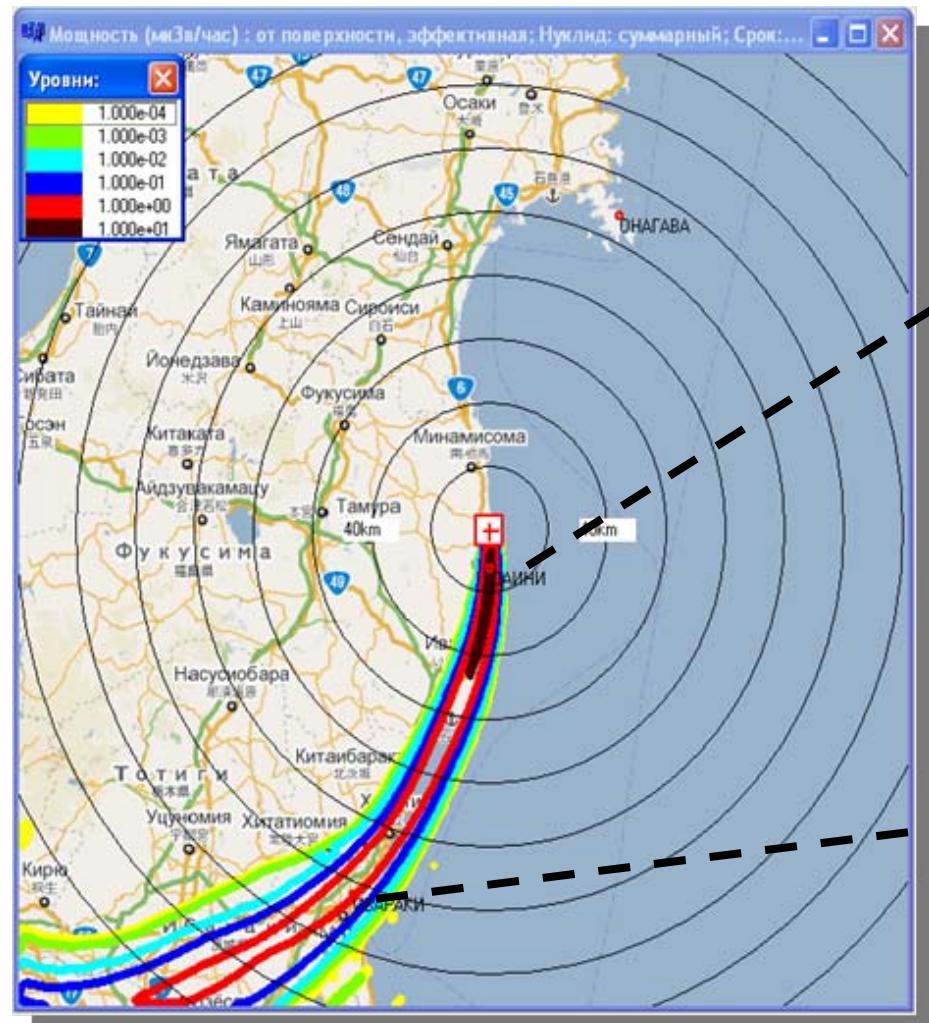
Расчетное соотношение радионуклидов на территории (по активности на 15/03):

Cs-137	1
Cs-134	1
I-131	17

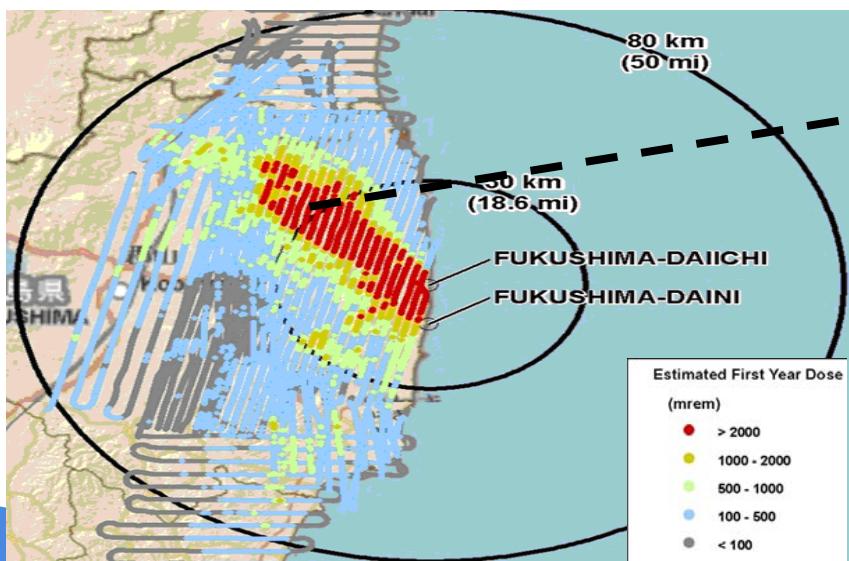
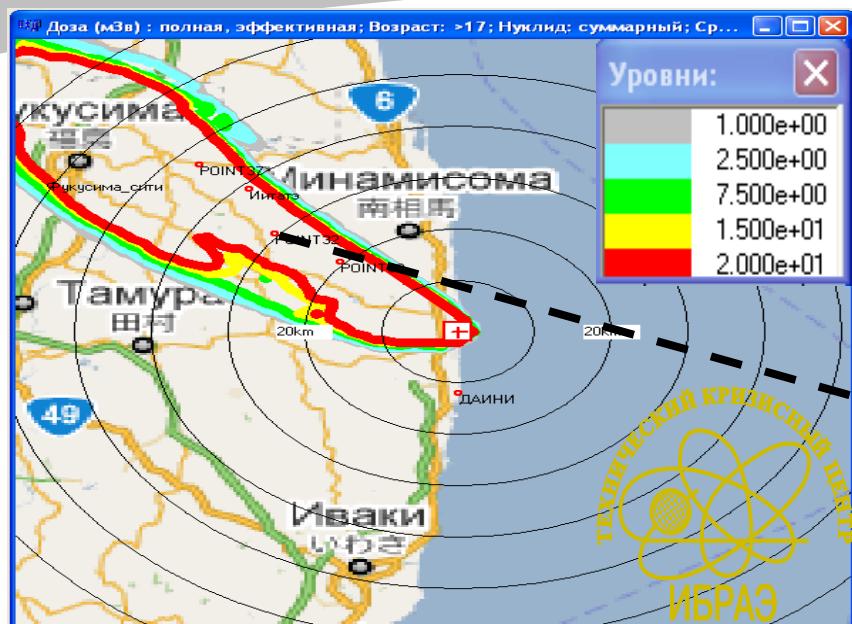


Суммарная доза облучения от облака и выпадений за 20 суток в п.Канагава – в диапазоне: **25-50** мкЗв

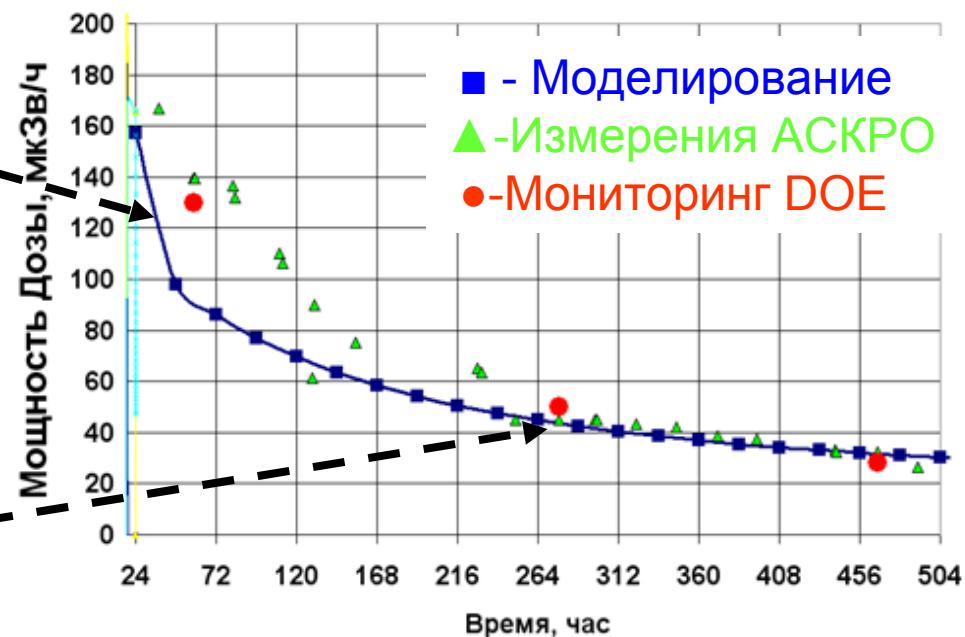
# Моделирование атмосферного переноса с помощью ПС «Нострадамус» с учетом подробных метеоданных на территории Японии. Южный след.



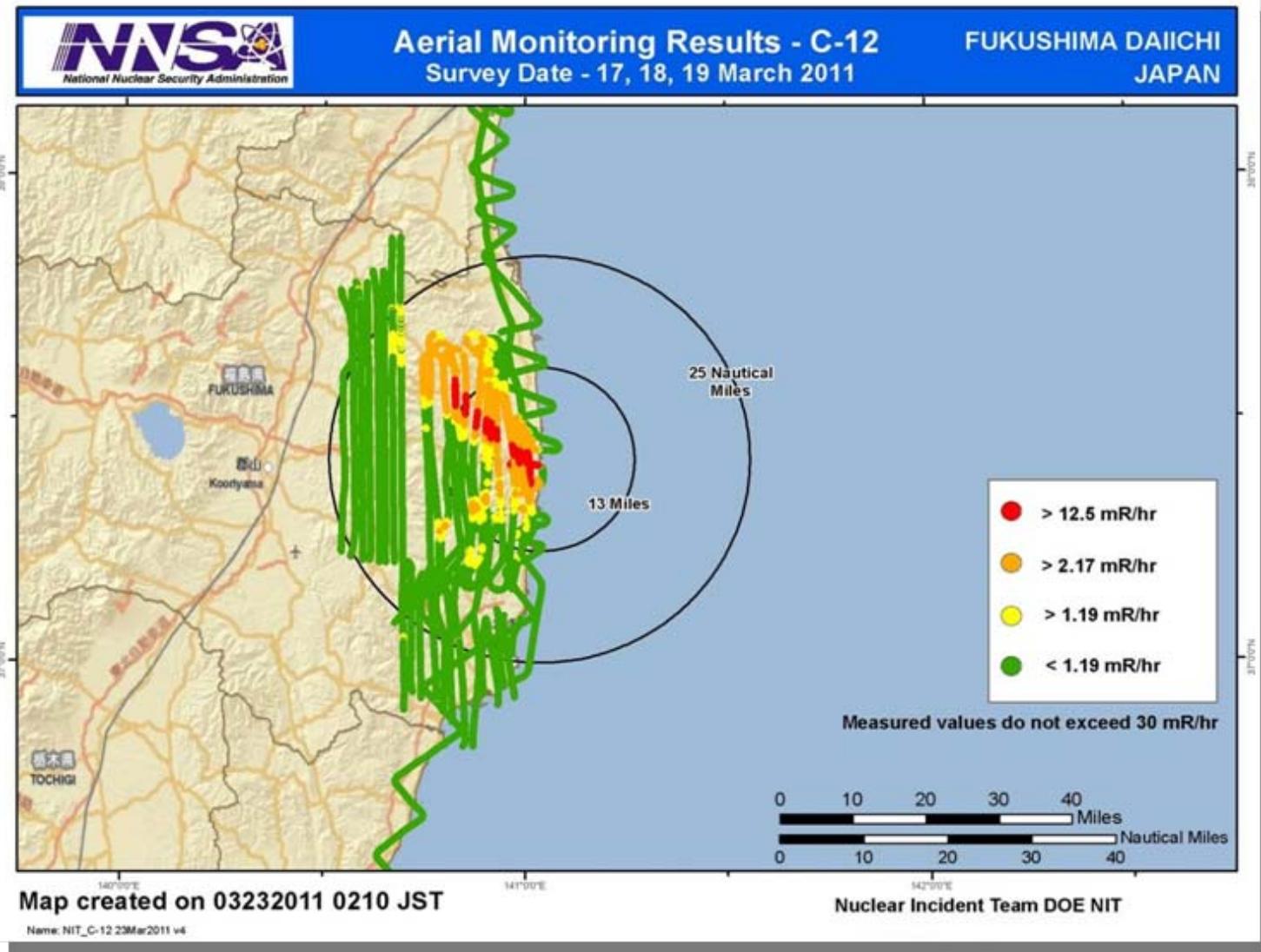
# **Моделирование атмосферного переноса с помощью ПС «Нострадамус» с учетом подробных метеоданных на территории Японии. Северо-Западный след.**



## Результаты моделирования и данные мониторинга



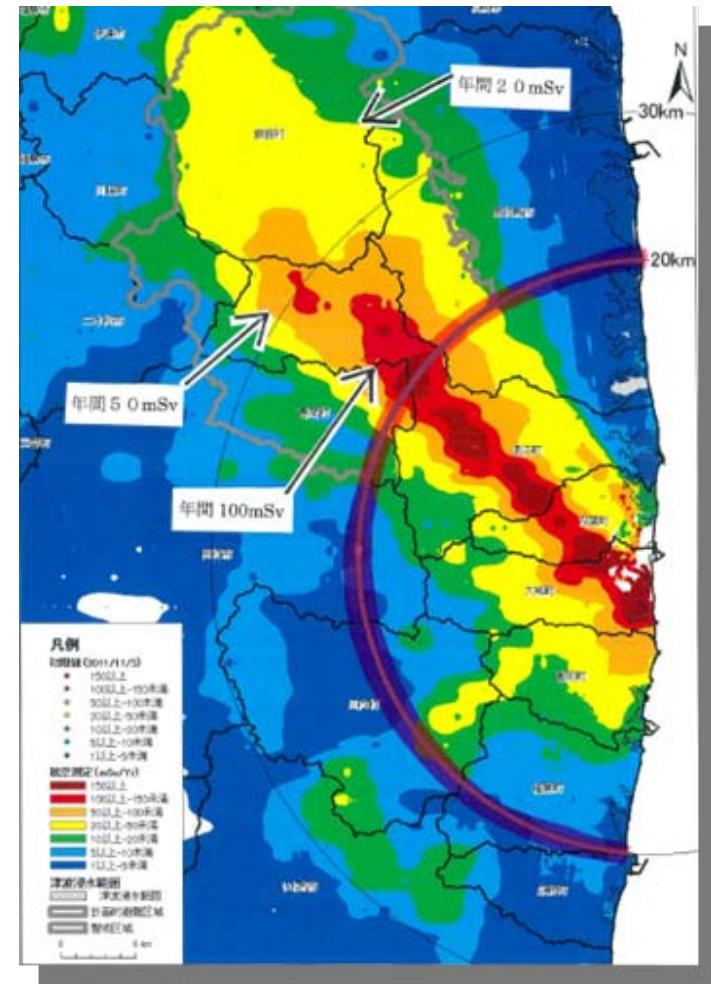
# Данные аэрогамма-съемки, выполненной NNSA (США)



# New zoning after April 2012

Announcement by the Nuclear Emergency Response Headquarters to change zoning (26 December 2011) after achieving Step II goal at Fukushima NPP

1. To prepare lifting “evacuation” order for areas <20mSv/a by March 2012: **Green** and **Blue** zone within 20km radius  
(decontamination and rebuilding infrastructure)
2. Continued off-limit for areas between above 20 but below 50 mSv/a: **Yellow** area, but shift to the above 1 after decontamination  
(decontamination)
2. Designate “areas difficult to return”: above 50mSv/a, applicable for 5 years: **Brown** and **Red** (consultation for relocation etc)

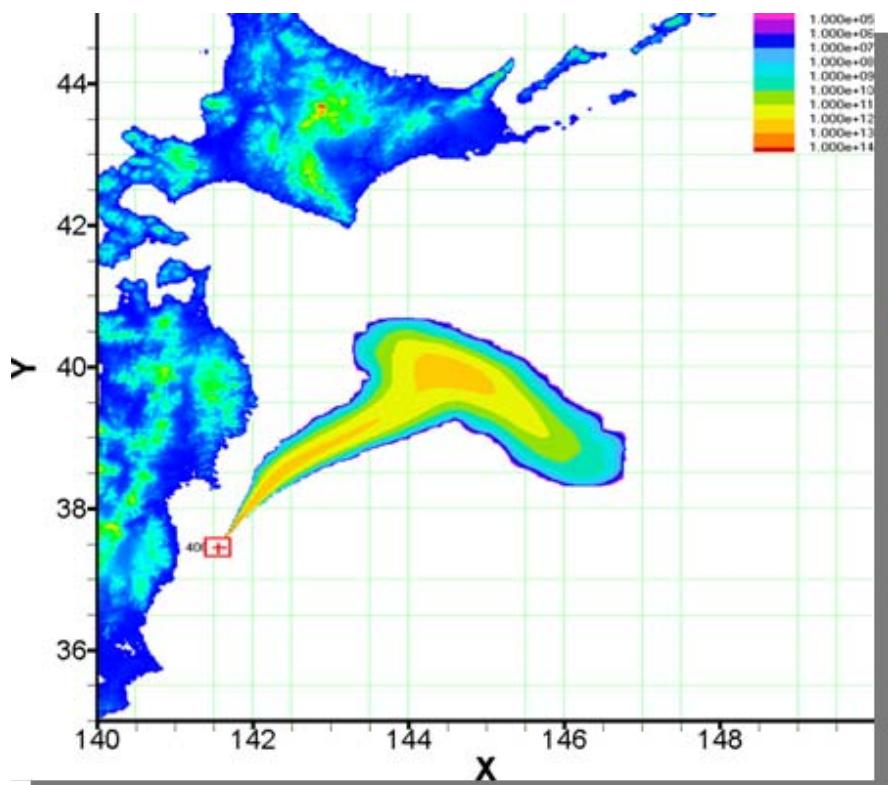


Predicted annual dose (as of 2011Nov5)

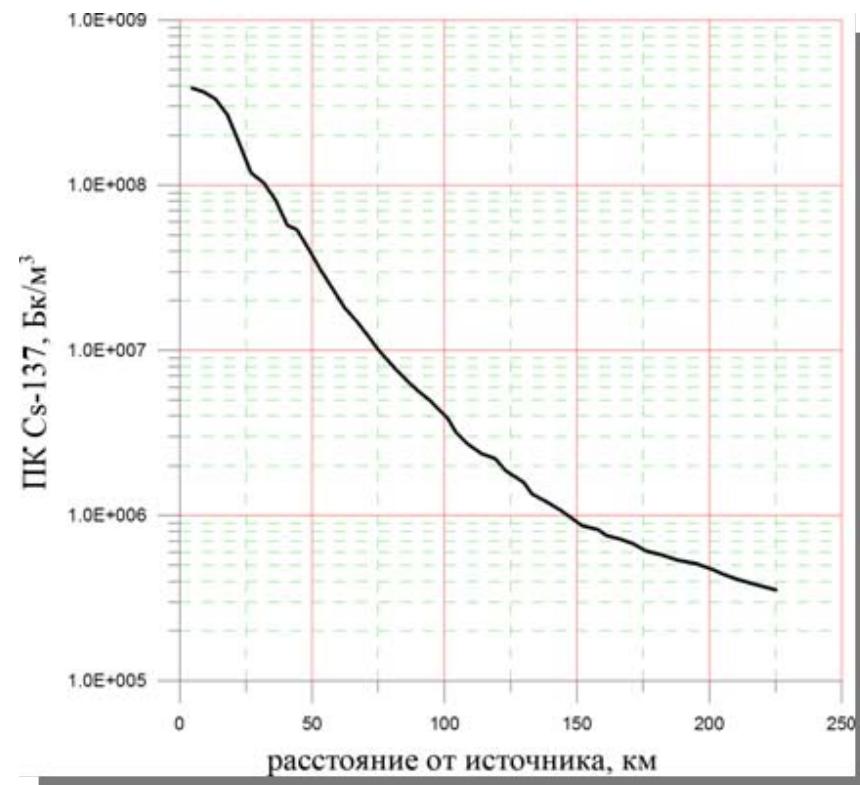
[SOURCE] [http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111226\\_01a.pdf](http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/111226_01a.pdf)

# Гипотетический выброс 1 мКю Cs-137

Проинтегрированные по времени концентрации в верхнем перемешанном слое за 40 дней для мгновенного источника.



Максимальные концентрации в пятне в зависимости от расстояния до берега (время дрейфа пятна – месяц). Все сделано для мгновенного источника.

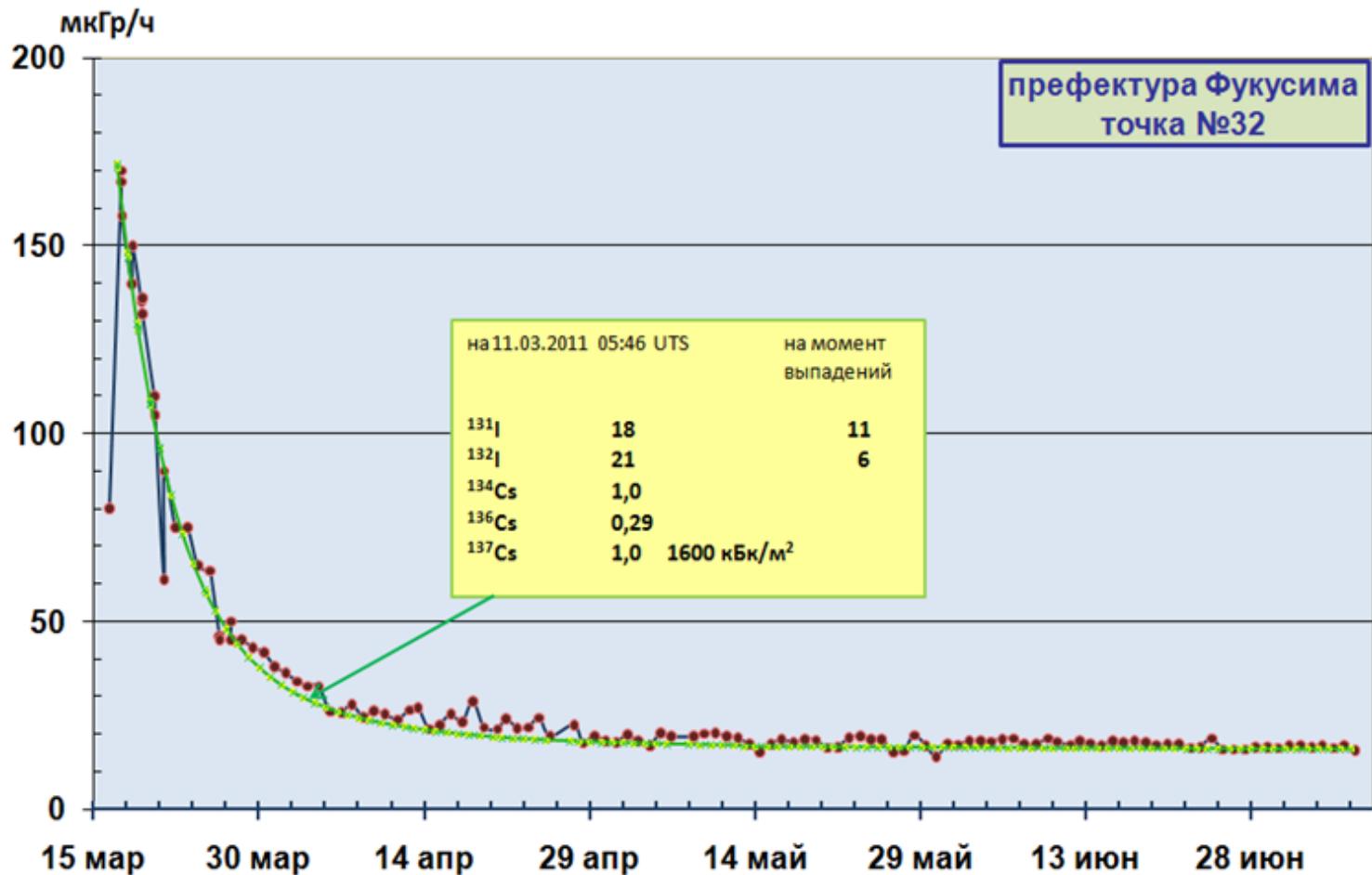


# Предварительная оценка радиологических последствий и рекомендации экспертов ИБРАЭ РАН

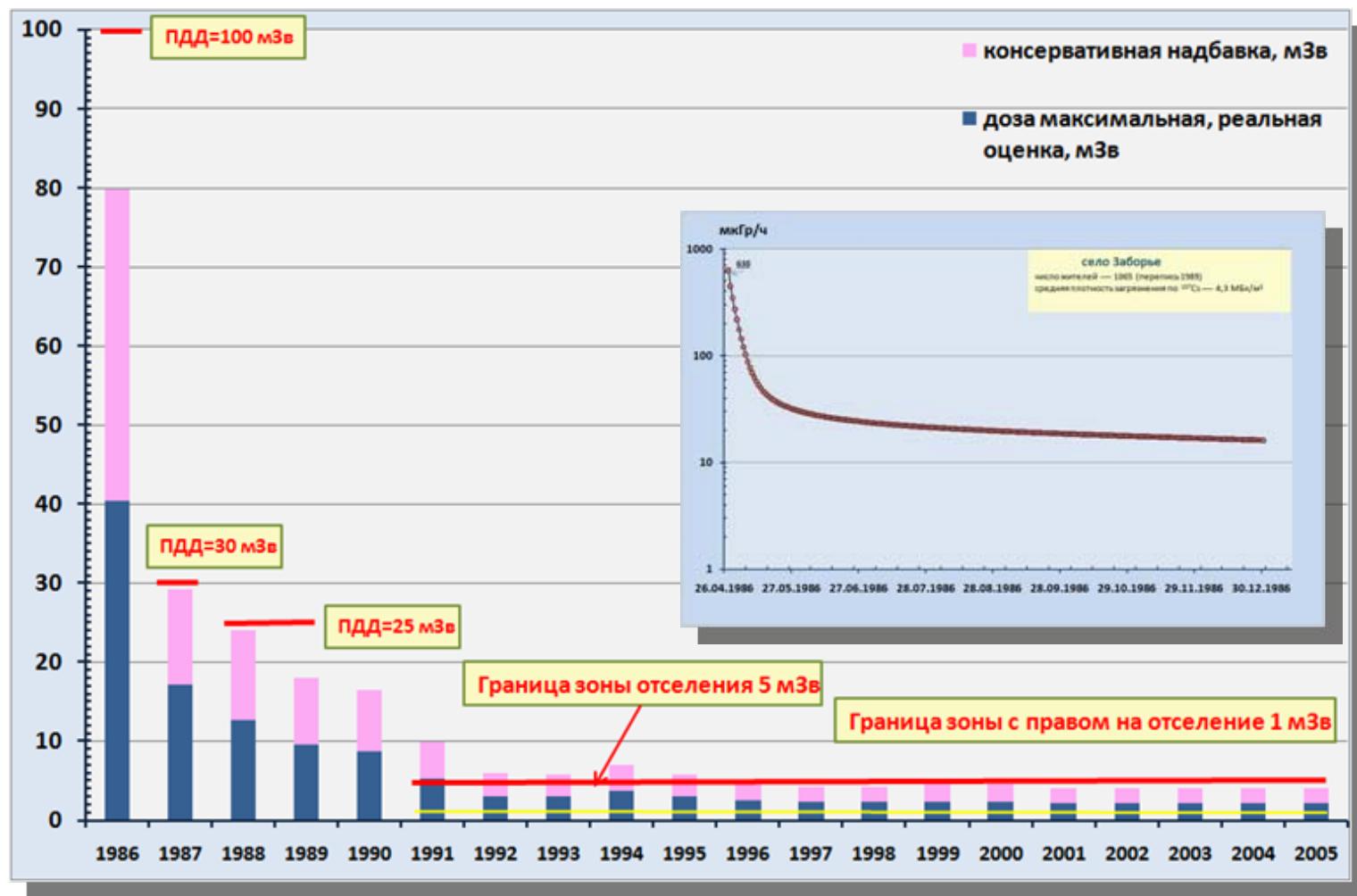
## Защитные мероприятия

- На большей части территории Японии суммарные дозы облучения населения за 20 суток после аварии не превысили 0,1 мЗв. На этих территориях никаких мер защиты проводить не рекомендуется.
- В наиболее загрязненном пункте префектуры Ибараки суммарная доза облучения населения за 20 суток после аварии составила около 0,6-1,0 мЗв. Здесь в превентивных целях рекомендуется в течение первого месяца осуществлять контроль за загрязнением растительной продукции и молока.
- На северо-западном следе за пределами 20-км зоны в муниципалитете Иитатэ максимальные дозы, полученные населением за 20 суток, могли доходить до 50 мЗв. Ожидаемая доза за первый год в отсутствие защитных мероприятий может составить около 150 мЗв. Эвакуация нецелесообразна. Рекомендуется проведение дезактивационных работ, ряд мер организационного характера, регулярный контроль за загрязнением продуктов питания и воды.
- **За пределами 20-ти км зоны оснований для эвакуации нет. По опыту аварии на ЧАЭС чрезмерные необоснованные с радиологической точки зрения защитные меры (в первую очередь эвакуация) могут привести к резкому масштабированию негативных психологических, социальных и экономических последствий.**

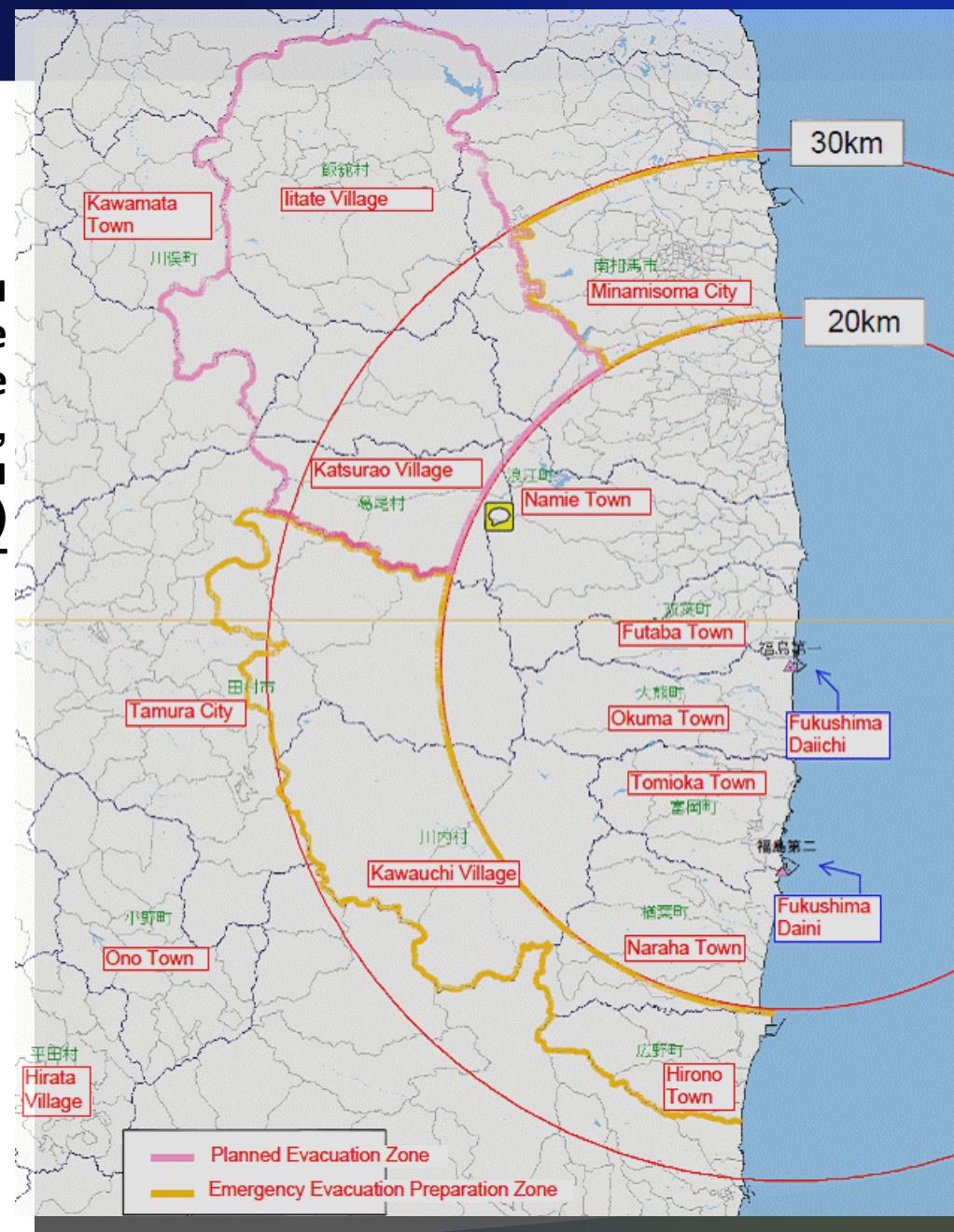
# Динамика мощности дозы в точке № 32 (31 км от АЭС) на границе муниципалитетов Намие и Иитатэ



# Самый загрязненный НП России Заборье, в котором часть населения проживает до настоящего времени



**Планируемые зоны эвакуации  
или зоны, подготовленные  
к эвакуации, установленные  
японскими компетентными органами,  
включая Агентство ядерной и  
промышленной безопасности (АЯПБ)  
и МОКСНТ**



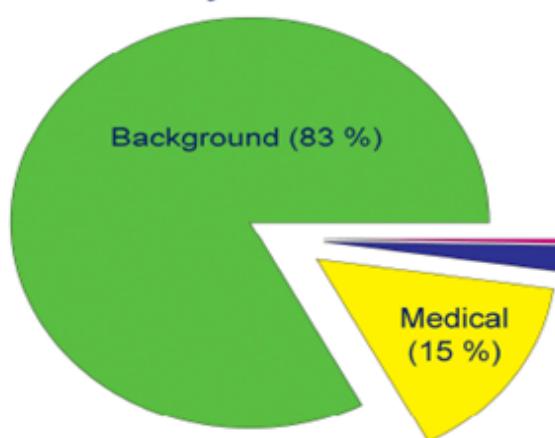
# Площадь территорий и численность населения в зонах с ожидаемой годовой дозой для населения свыше 20 и 100 мЗв

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

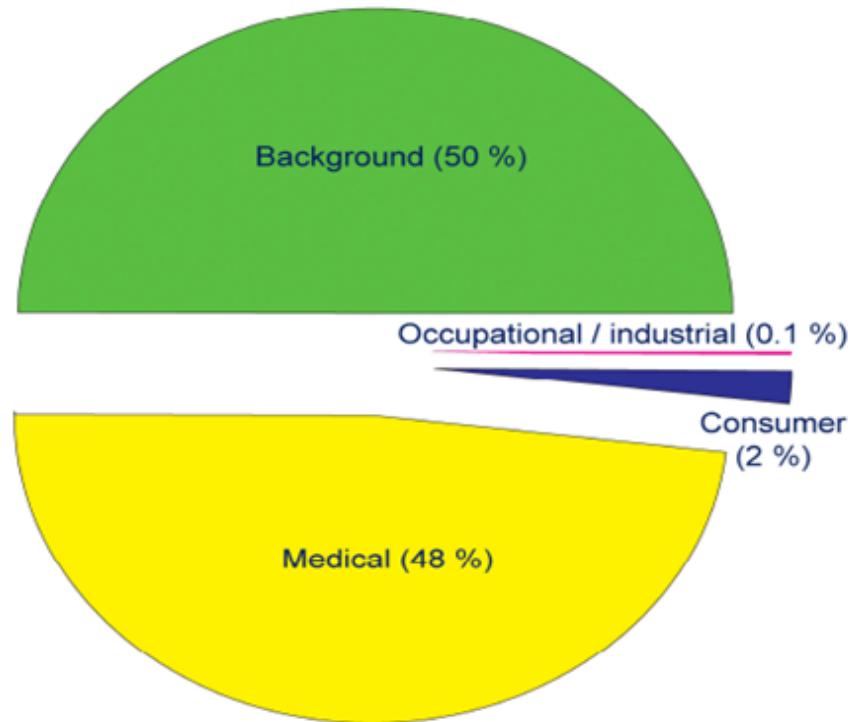
# Challenges in average annual individual doses due to insufficient control in the medical sector

## (US data)

Early 1980s



2006



Collective effective dose  
(person-Sv)

Early 1980s

835,000

2006

1,870,000

Effective dose per individual  
in the U.S. population (mSv)

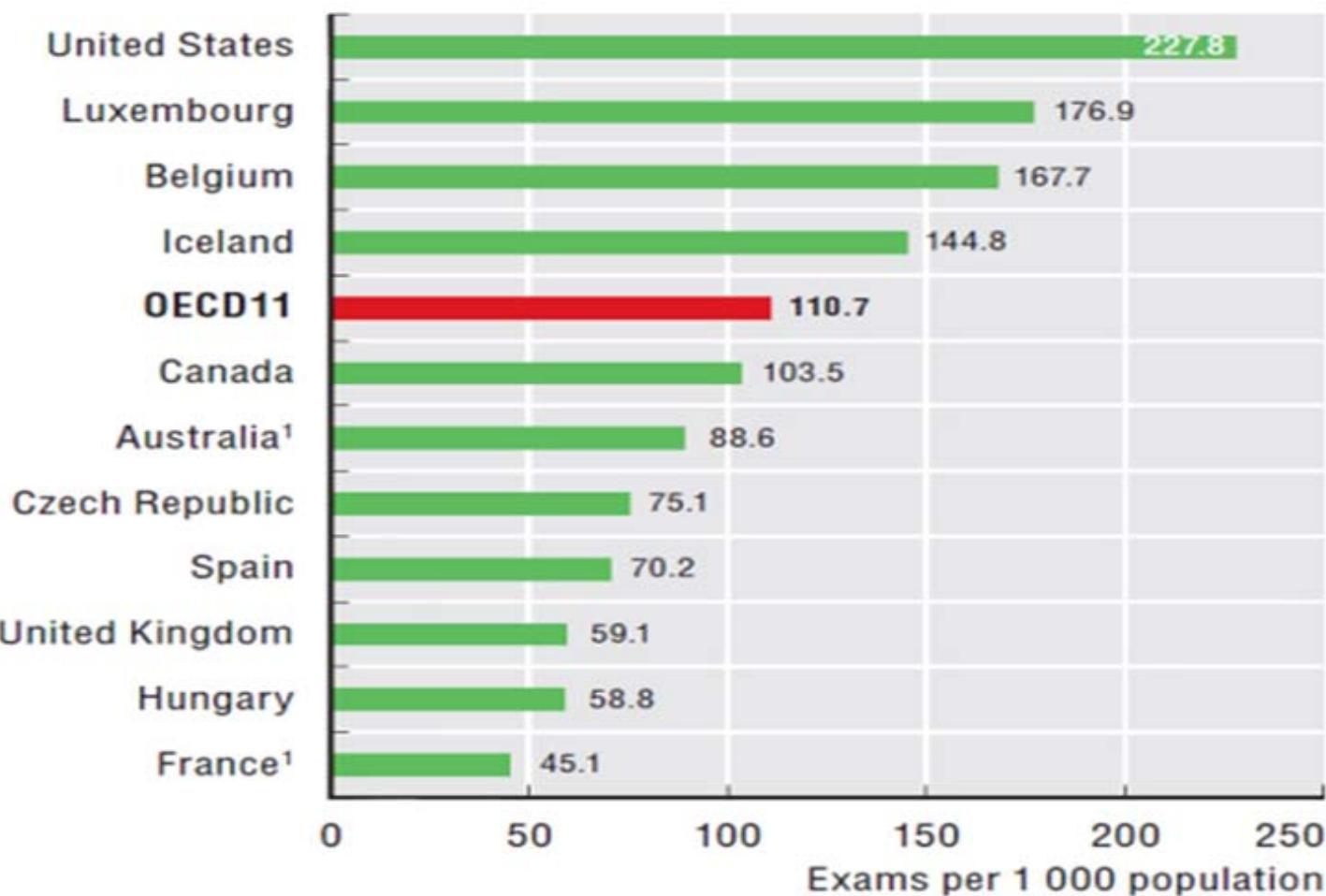
3.6

6.2

# Наблюдаемые значения эффективных доз при проведении процедур КТ по данным НКДАР ООН-2009

Орган или процедура	Среднее значение эффективной дозы, мЗв	Диапазон зарегистрированных эффективных доз, мЗв
Голова	2	0.9 – 4.0
Шея	3	-
Грудная клетка	7	4.0 – 18.0
Эмболия сосудов легких	15	13 - 40
Брюшная полость	8	3.5 - 25
Область таза	6	3.3 - 10
Печень (3 фазы)	15	5.0 - 25
Позвоночник	6	1.5 - 10
Коронарная ангиограмма	16	5 - 32

# Число процедур КТ на 1000 человек в различных странах мира в 2007 году



Данные из отчета OECD-2009

# Оценка численности населения в префектуре Фукусима по зонам ожидаемой доз за 1 год по данным на 11 июля 2011 года

Доза, мЗв/год	Население, чел	Домохозяйства	Полная площадь, км <sup>2</sup>	Населенная площадь, км <sup>2</sup>
1	≈950 000	≈320 000	≈4000	≈1600
2	560 000	191 180	2400	970
3	400 000	136 500	1870	710
10	84 000	27 200	946	245
20	60 000	19 320	694	190
30	51 900	16 740	560	164
40	28 600	9 280	320	81
50	23 200	7 540	260	65
100	12 550	4 060	154	35
150	5 730	1 860	69	16
200	3 720	1 200	18	10
300	2 210	710	8,4	5,8
400	1 230	400	4,9	3,2

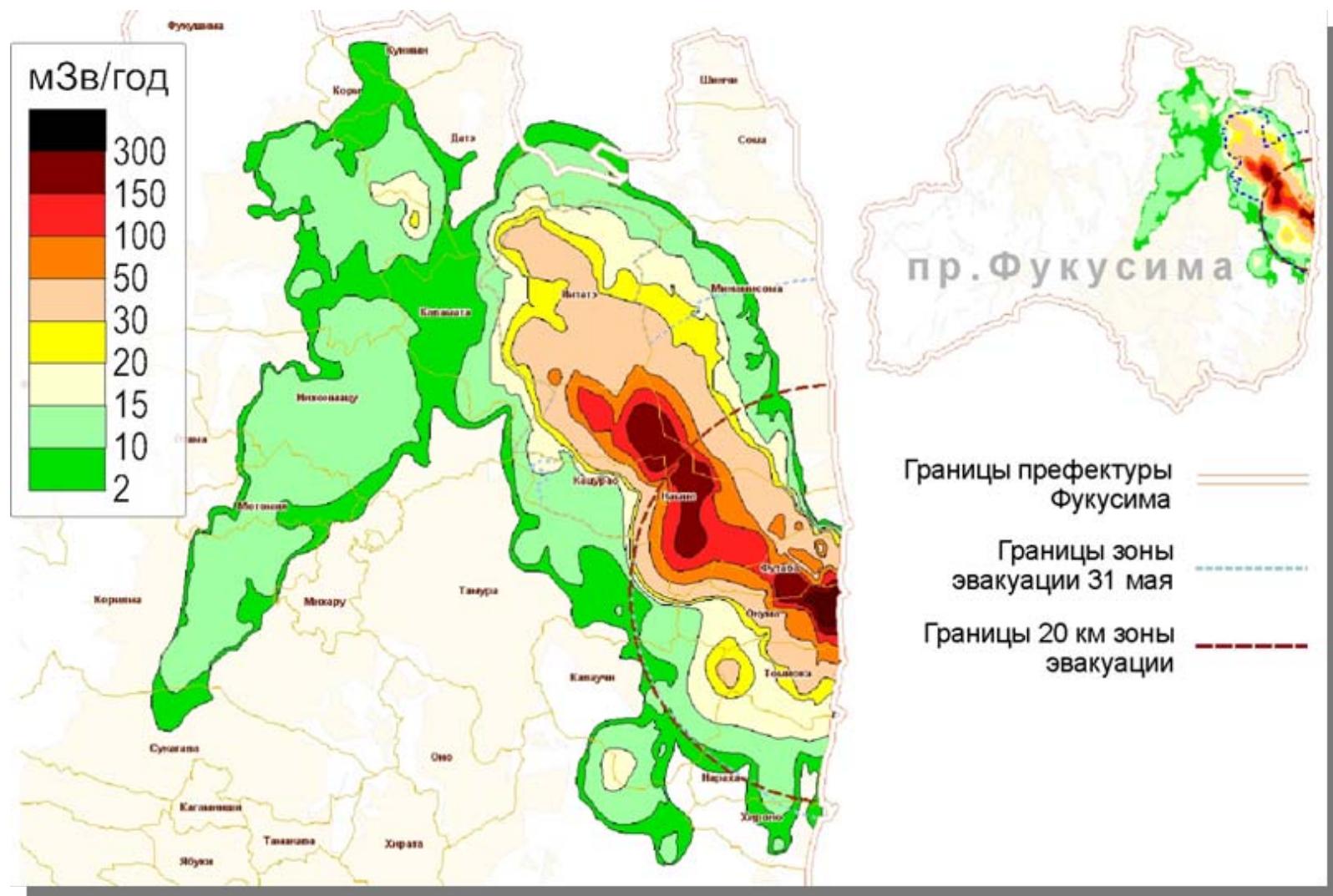
# Оценка численности населения в зонах эвакуации с ожидаемой дозой за первый год $\geq 20$ и $\geq 100$ мЗв по данным на 11 июля 2011 года

Зона	Параметры	Ожидаемая доза за первый год, мЗв	
		$> 20$	$> 100$
Всего	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	695
		Заселенная	193
	Население, чел	60 000	12 550
В 20 км зоне	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	327
		Заселенная	109
	Население, чел	43 700	8750
За пределами 20 км зоны	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	368
		Заселенная	84
	Население, чел	16 300	4000
В расширенной зоне эвакуации	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	662
		Заселенная	192
	Население, чел	59200	12550
За пределами расширенной зоны эвакуации	Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	33
		Заселенная	<1
	Население, чел	800	0

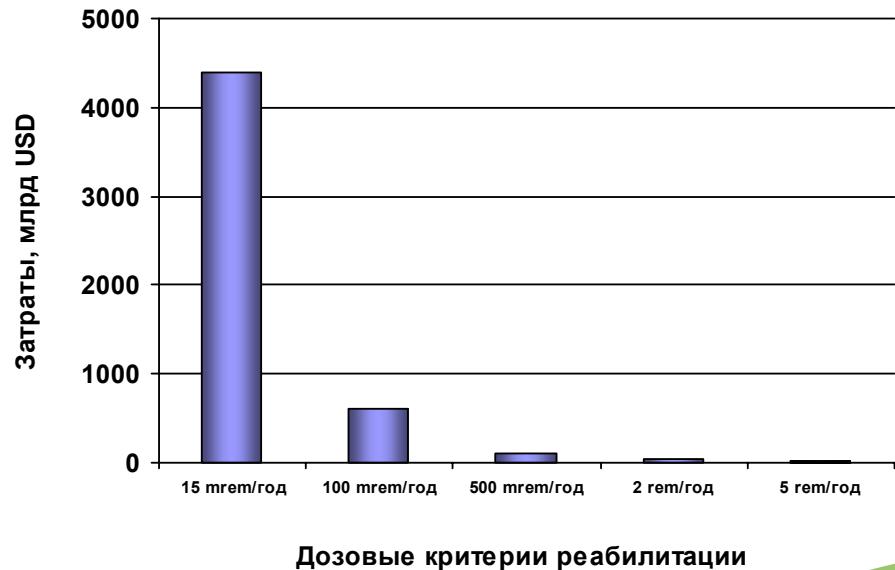
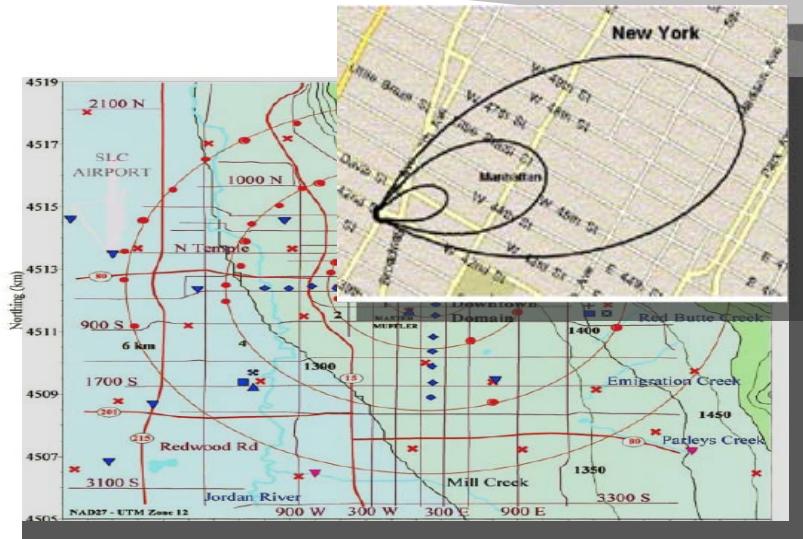
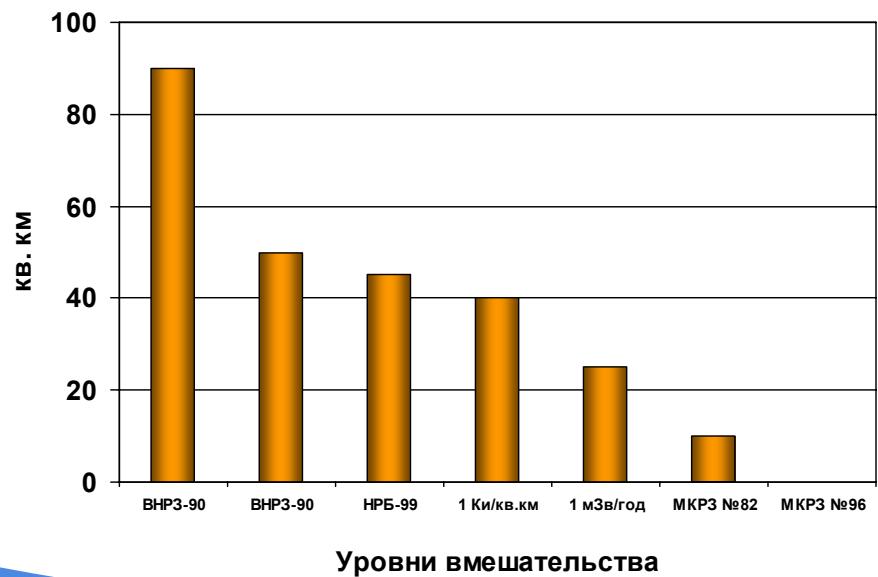
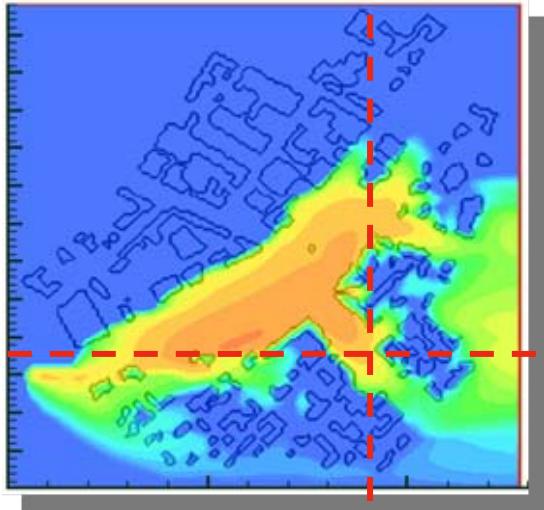
# Оценки экономических затрат при различных сценариях эвакуации населения

Зона проведения мероприятий		Затраты, млн.USD						
Зона эвакуации	20 км	Компенсация потери недвижимости	Потери производства за 2 года	Стоимость земли	Стоимость транспортировки при эвакуации	Месячное проживание в эвакуации	Затраты на реабилитацию	
	Расширенная	1 470	5 300	47 000	2,6	192	1,8	
Прогнозируемая доза, мЗв/год	>20	2 390	9 000	87 000	4,3	321	3,4	
	>100	1 100	3 730	39 100	2	148	1,7	
Зона загрязнения, >40 Ки/км <sup>2</sup>		230	875	7 650	0,4	30,7	0,3	
		975	3 320	34 200	1,7	130	1,5	

# Прогнозируемое распределение доз за первый год для населения префектуры Фукусима в мЗв



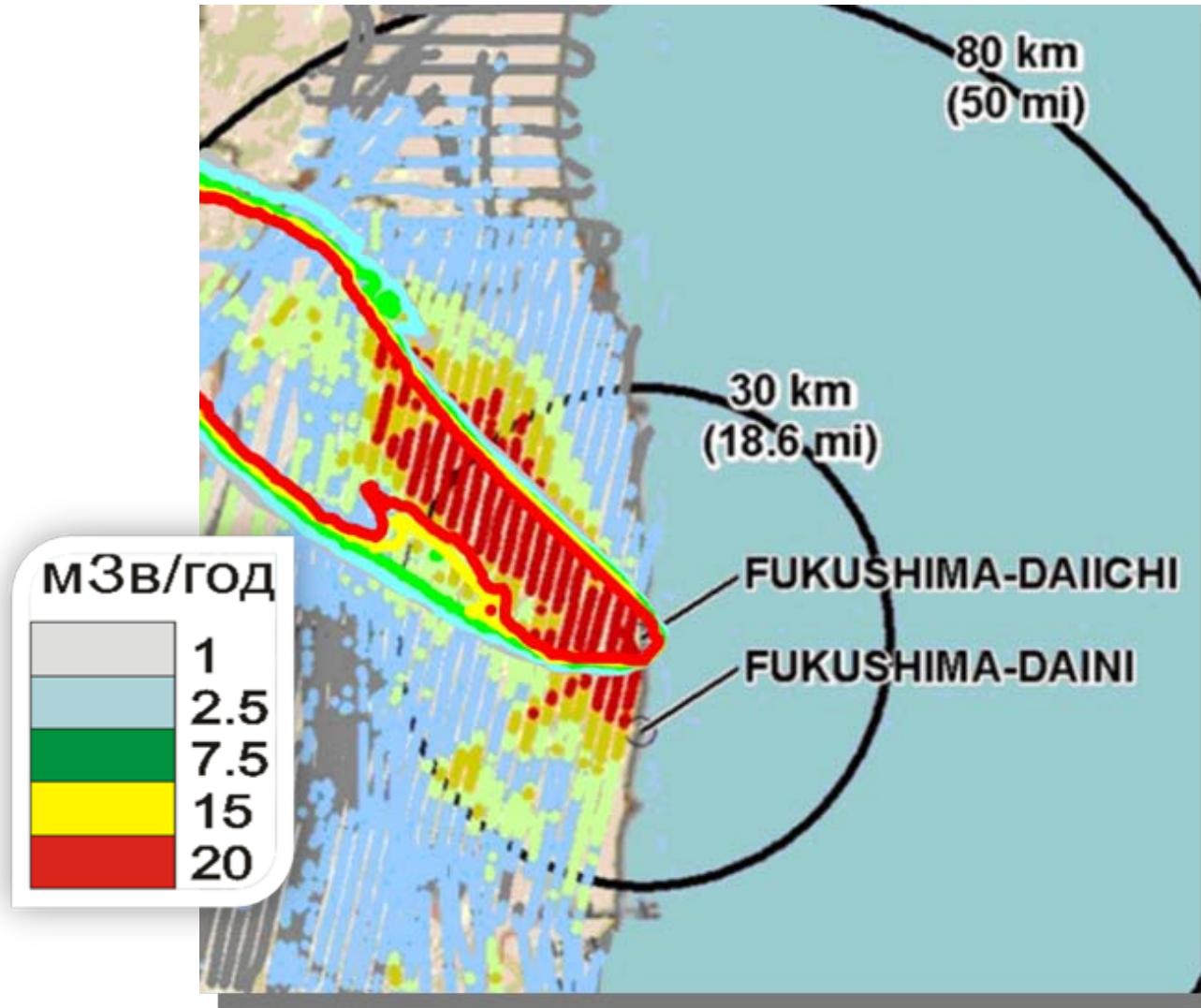
# Уровень угроз, угрожаемое количество РВ и масштаб экономических последствий при радиологических терактах прямо определяется применяемыми УВ



**Максимальные измеренные концентрации  $\text{I-131}$  в Уссурийске 26 марта соответствуют  $1\text{-}10 \text{ мБк}/\text{м}^3$**   
**Максимально возможная эффективная доза – 1 нЗв**



# Сравнение результатов расчета доз облучения за 1-й год с результатами US DoE/NNSA, основанными на данных аэрогаммасъемки



# Оценка выпадений Cs-137 на территории Японии

Точка контроля	Выпадения Cs-137, Ки/км <sup>2</sup>		
	«Нострадамус»**	МЕХТ*	DOE США*
АЭС Даини	11	13	12
преф. Ибараки	3	1,3	<8
Точка № 32	102	173	120
г. Фукусима-сити	6	9	12
деревня Итате	50	30	54
Точка № 83	200	300	450

\* – по данным фактических измерений

\*\* – расчет ИБРАЭ

# Оценка выброса I-131 и Cs-137 на территорию Японии

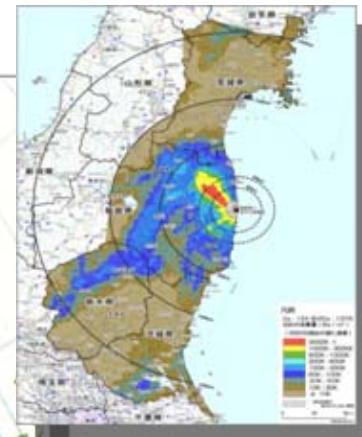
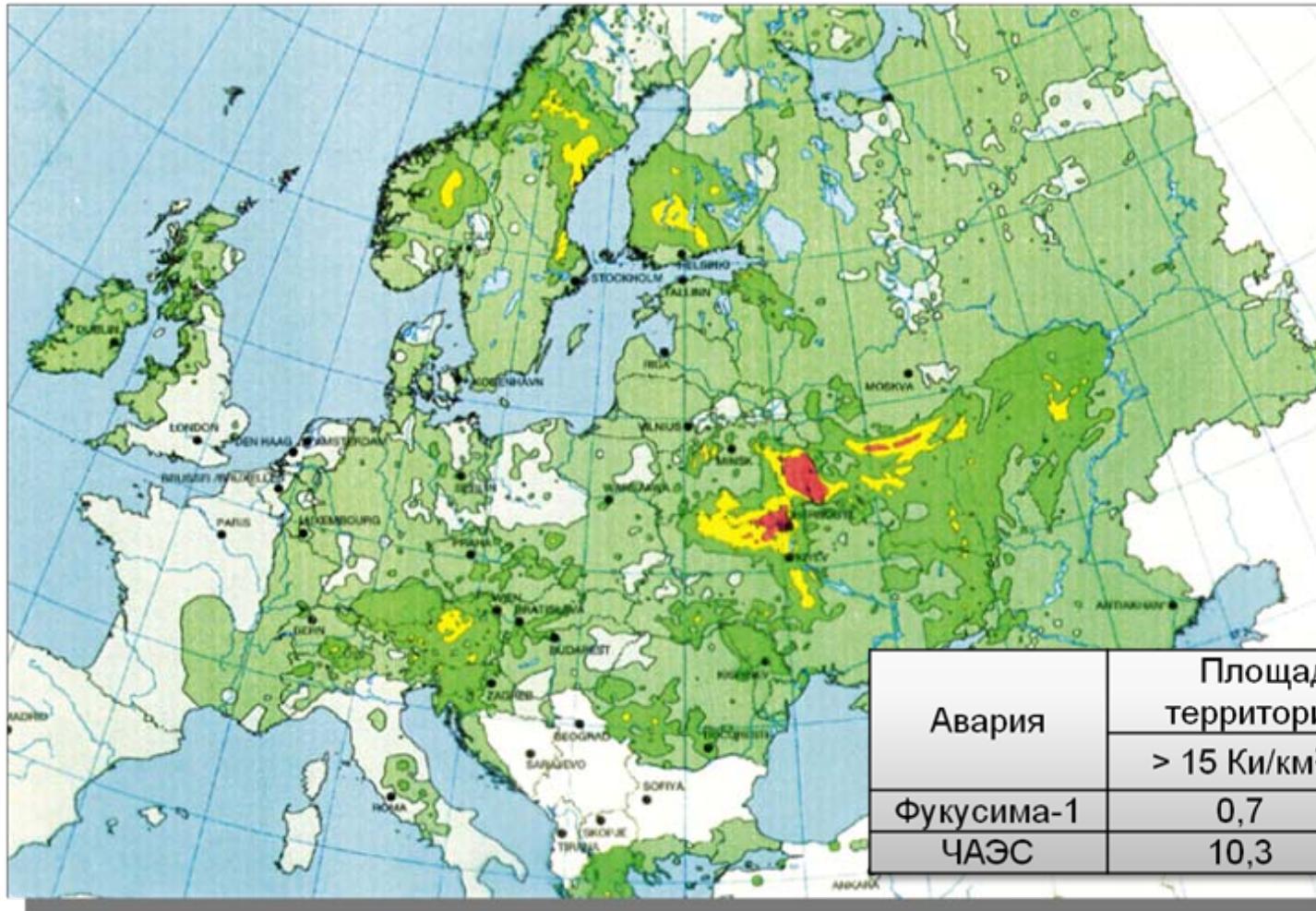
Нуклид	Оценка выброса, Бк			
	Выброс на территорию (С-3)	NISA	NSC	ЧАЭС
I-131	$2*10^{17}$	$1.3*10^{17}$	$1.5*10^{17}$	$1.8*10^{18}$
Cs-137	$3*10^{16}$	$6.1*10^{15}$	$1.2*10^{16}$	$8.5*10^{16}$
Всего	$1.4*10^{18}$	$3.7*10^{17}$	$6.3*10^{17}$	$5.2*10^{18}$

По предварительным оценкам NISA, NSC и ТКЦ ИБРАЭ РАН авария на АЭС Фукусима Даichi соответствует 7 Уровню по Международной шкале Ядерных Событий (INES).

# Выпадения Cs-137 при авариях на ЧАЭС и Фукусима-Даичи на территории России и Японии (макет слайда)

Желтый уровень – от 5 до 40 Ки/км<sup>2</sup>

Красный уровень – более 40 Ки/км<sup>2</sup>



Увеличено  
в 5 раз

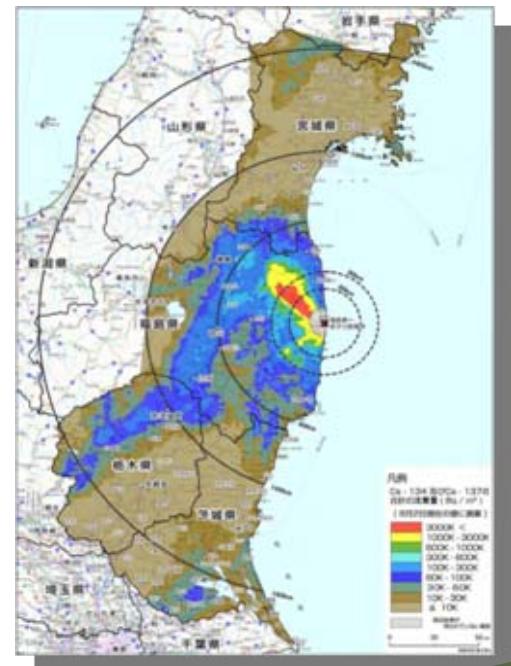
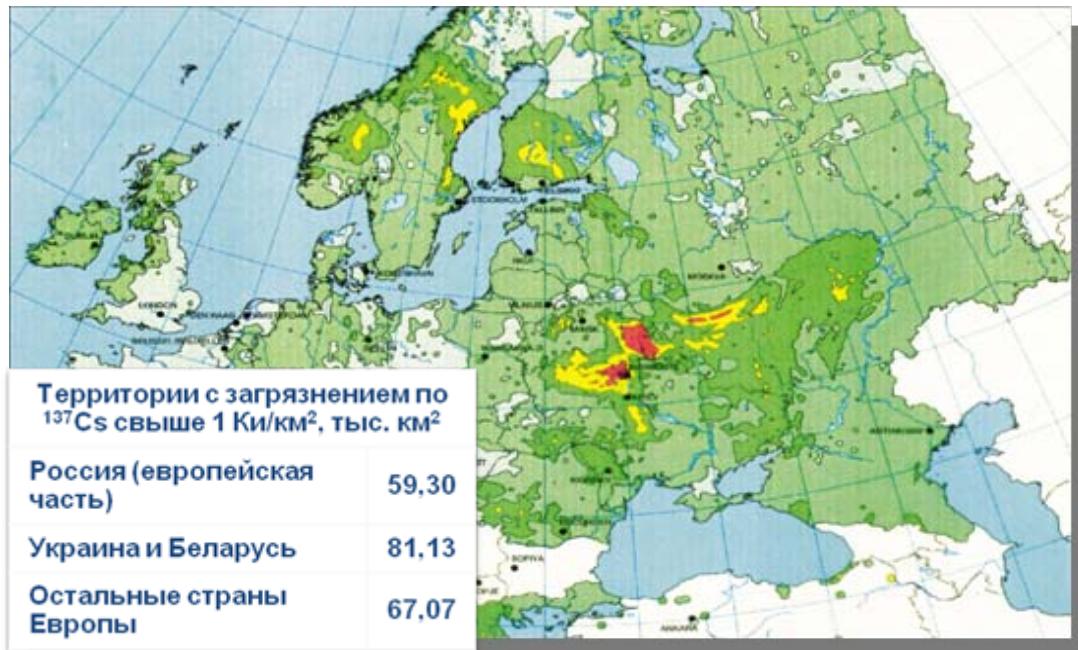
Авария	Площадь загрязненной территории Cs-137, тыс.км <sup>2</sup>	
	> 15 Ки/км <sup>2</sup>	> 40 Ки/км <sup>2</sup>
Фукусима-1	0,7	0,26
ЧАЭС	10,3	3,1

# Оценка численности населения в зонах эвакуации с ожидаемой дозой за 1-ый год >20 и >100 мЗв

Параметры	Ожидаемая доза за первый год, мЗв	
	> 20	> 100
Площадь, км <sup>2</sup>	Полная	695
	Заселенная	193
Население, чел	60000	12550

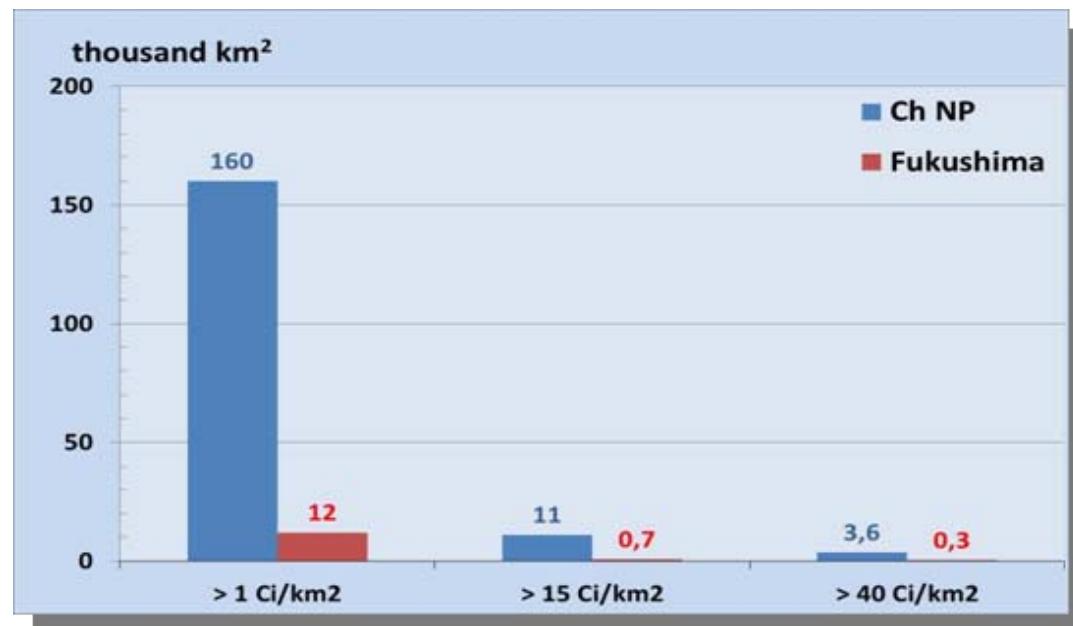
# **Выпадения радиоактивных веществ при авариях на ЧАЭС и Фукусима-Даичи на территории России и Японии (в ПБк) и их доля от выброшенных в окружающую среду**

Nuclid	Russia		□ □ □	
	ПБк	%	ПБк	%
<sup>131</sup> I	285	16	50	10
<sup>137</sup> Cs	19	22	3	15
I/Cs	15		17	

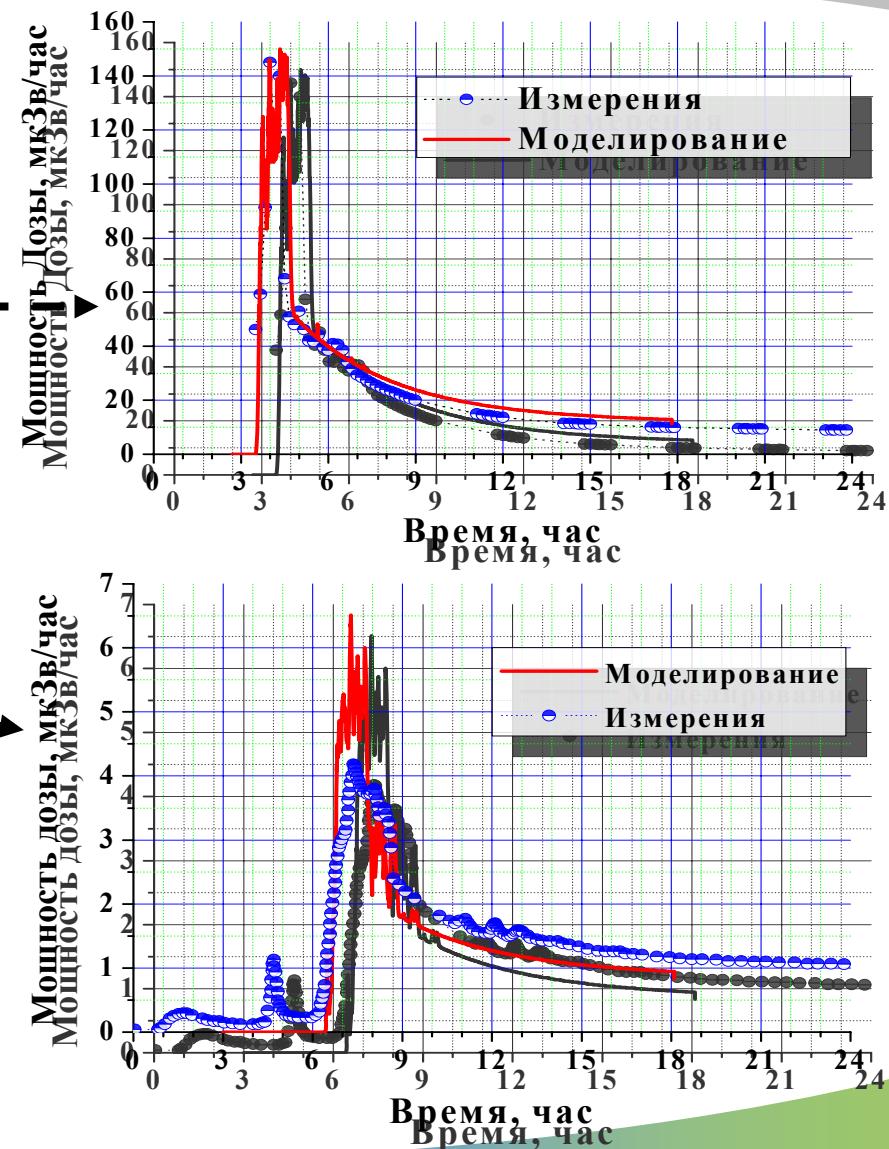
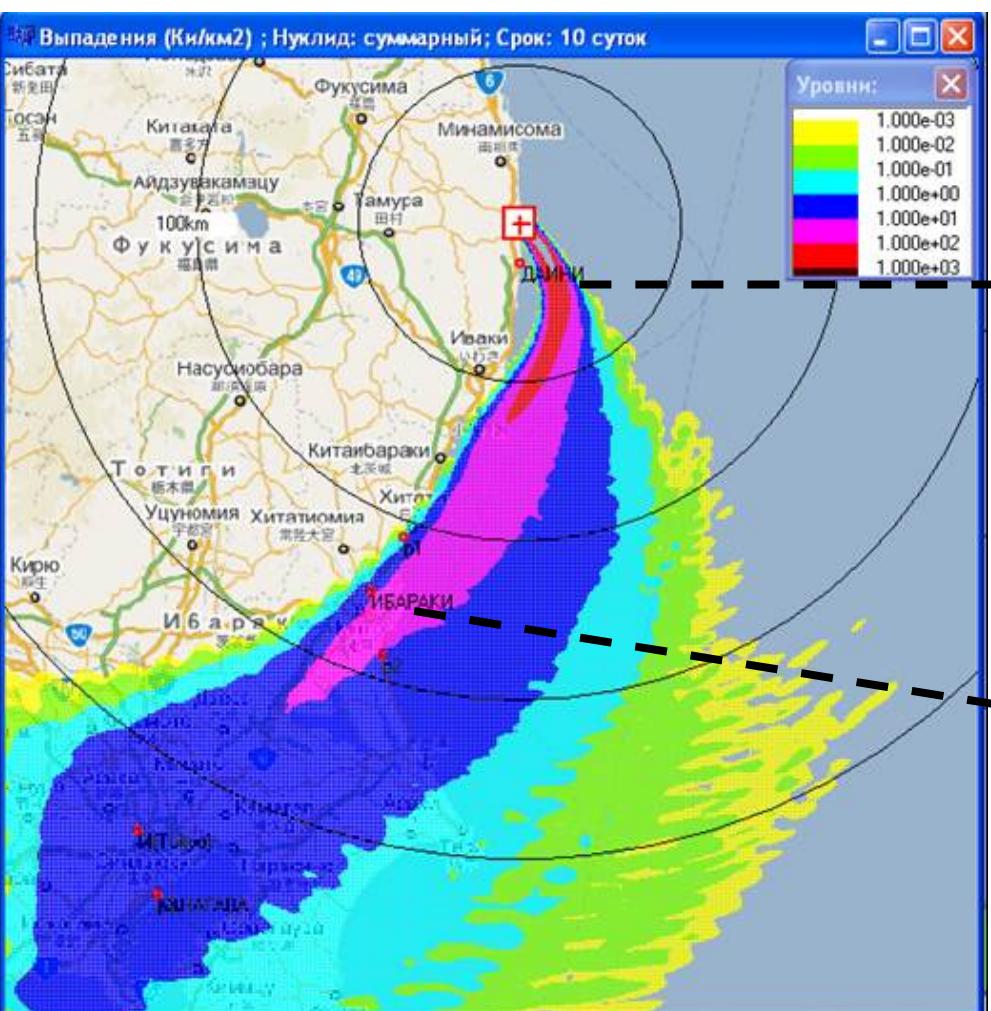


# Площади загрязненных территорий в РФ и в Японии в результате аварий на ЧАЭС и АЭС «Фукусима-1»

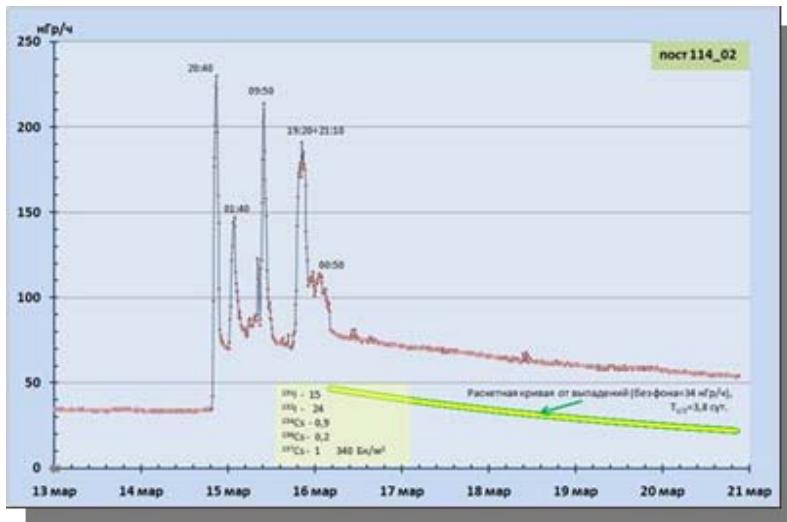
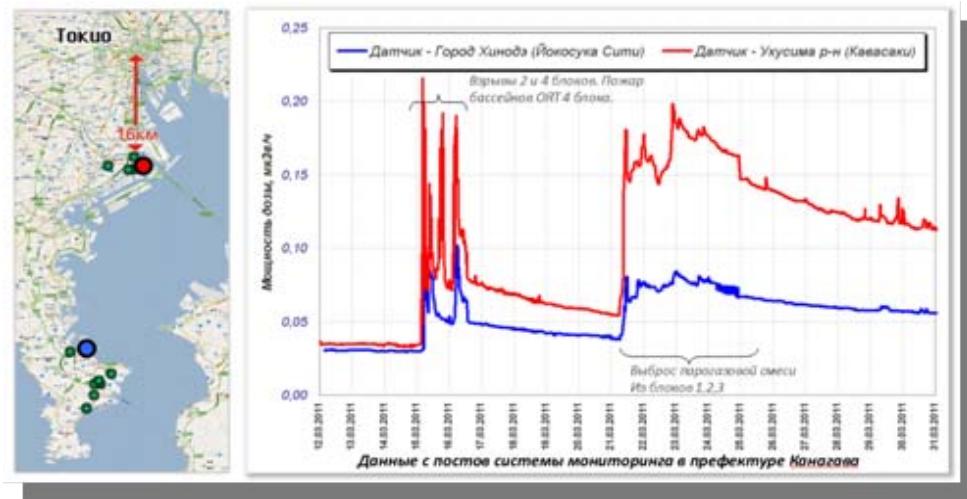
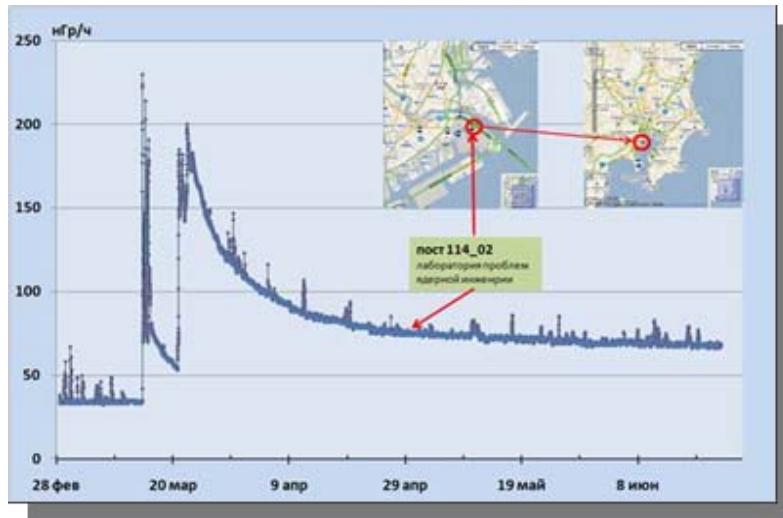
Incident	Площадь загрязненной территории Cs-137, тыс.км <sup>2</sup>	
	> 15 Ci/km <sup>2</sup> (555 kBq/m <sup>2</sup> )	> 40 Ci/km <sup>2</sup> (1480 kBq/m <sup>2</sup> )
Fukushima-1	0,7	0,3
Chernobyl NP	10,95	3,62



# Моделирование атмосферного переноса с помощью ПС «Нострадамус» с учетом подробных метеоданных на территории Японии. Южный след.



# Расчетные оценки доз облучения населения в префектуре Канагава (Токио)



Суммарная доза облучения от облака и выпадений за 20 суток в п.Канагава – в диапазоне **25-50 мкЗв**

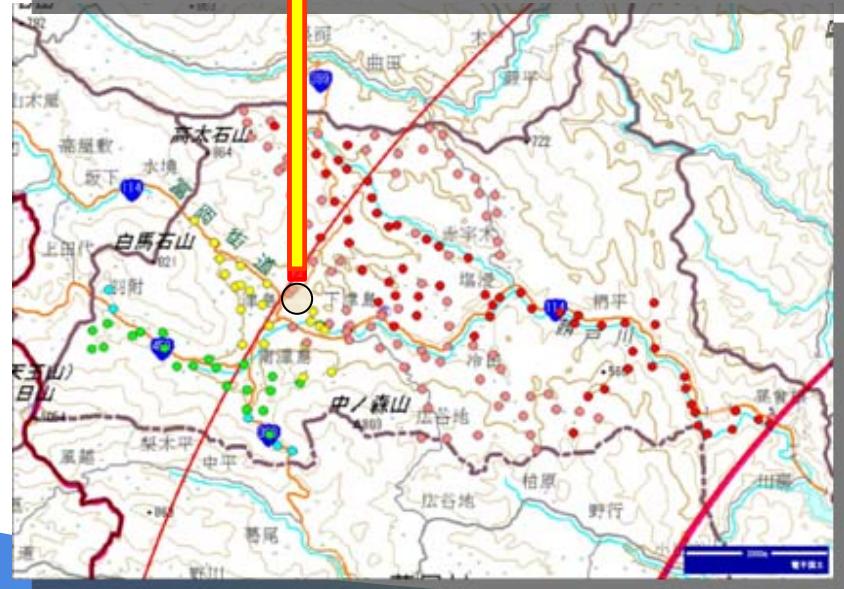
# Дозовые нагрузки на население



Точка № 32

Futaba county  
Namie town Akougi Teshichiro,  
30 км N/W от АЭС

1,6 МБк/м<sup>2</sup> (43 Ки/км<sup>2</sup>) по <sup>137</sup>Cs



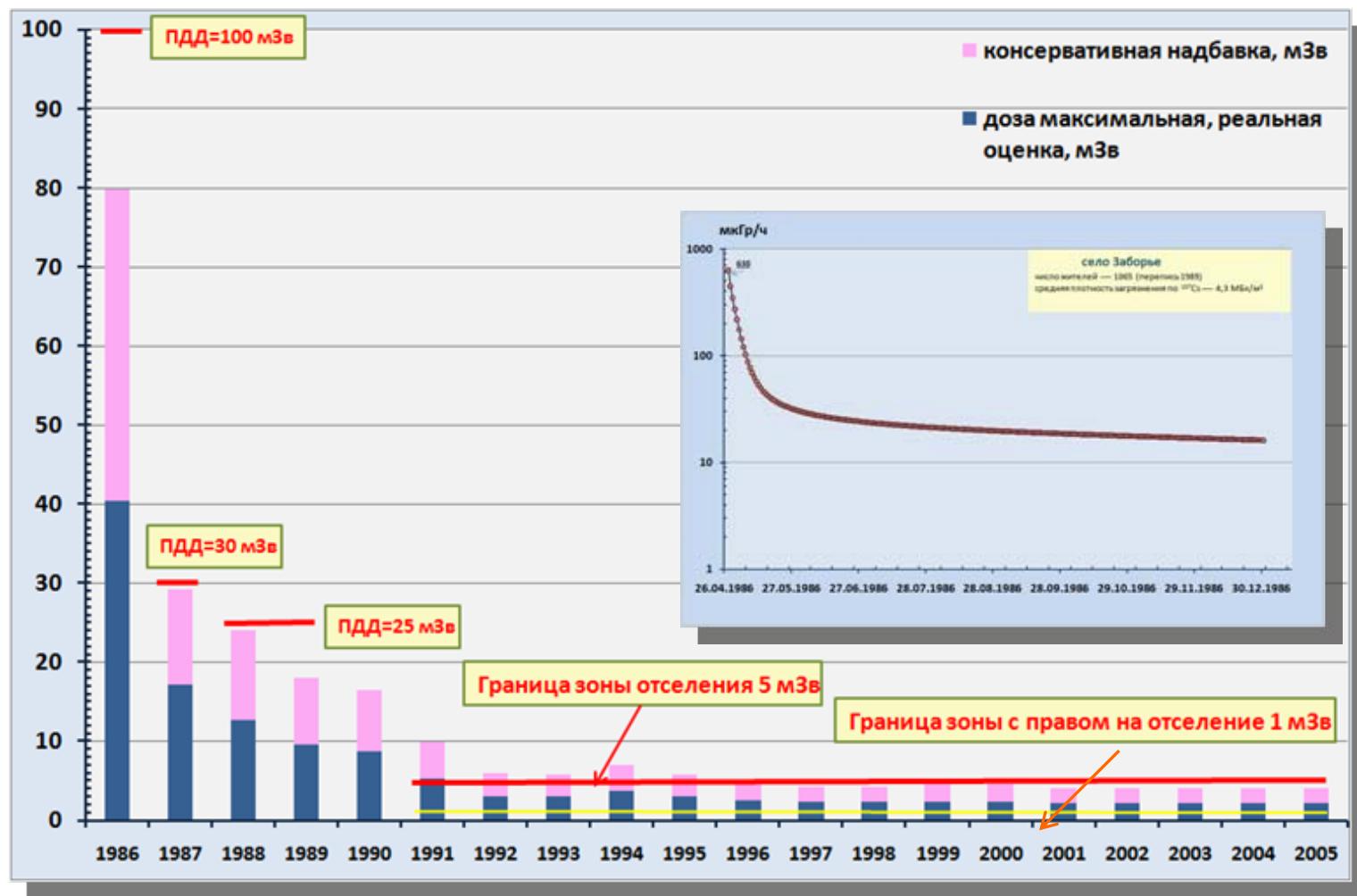
Доза от облака — 0,3 мЗв;  
Доза на ЩЖ — 200 ÷ 300 мГр;

Доза от поверхности земли:

- за 10 первых суток — 15 мЗв;
- за 1 месяц — 25 мЗв;
- за 4 месяца — 45 мЗв;
- за первый год — 90 мЗв;

Доза внутреннего облучения за счет продуктов питания не превысит 1 мЗв

# Самый загрязненный НП России Заборье, в котором часть населения проживает до настоящего времени



# Медицинские последствия аварии на ЧАЭС

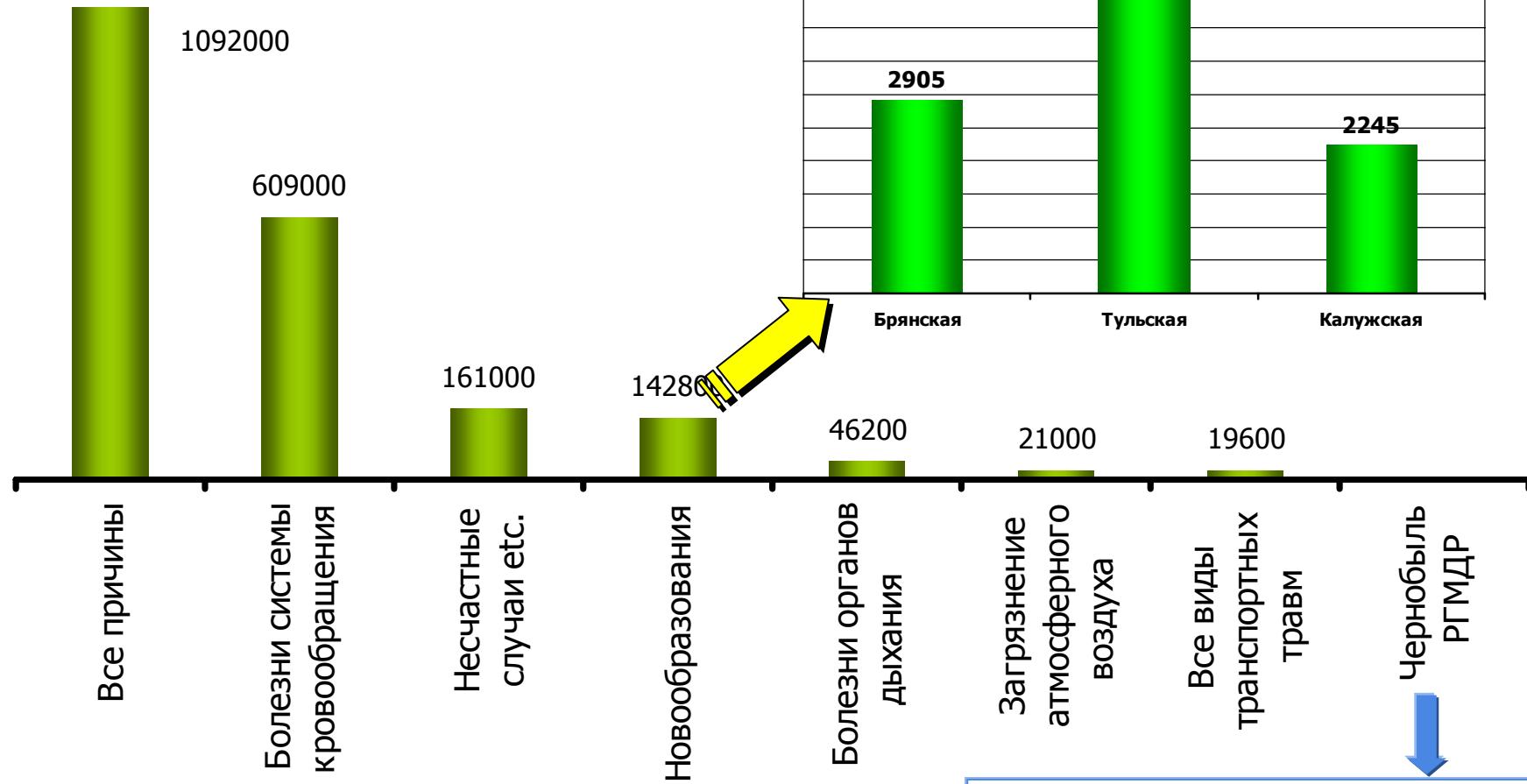
Радиацией обусловлены:

- **134 случая острой лучевой болезни у пожарных и работников Чернобыльской АЭС;**
- **до 40% из 748 случаев рака щитовидной железы у детей (на момент аварии), выявленных в 4-х областях России;**
- **часть из 115 случаев рака щитовидной железы – у ликвидаторов;**
- **до 80 смертельных лейкозов из 198 зарегистрированных среди ликвидаторов.**

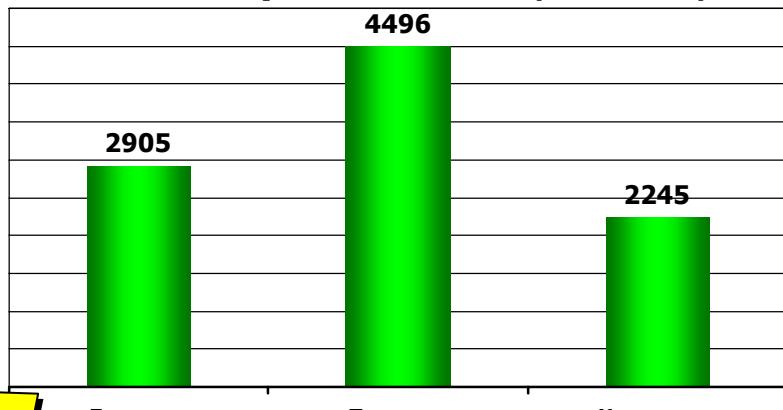
**Эти последствия можно было сильно уменьшить!**

# Смертность по причинам Россия – 2001 г.

**Умерло человек на 70 млн**

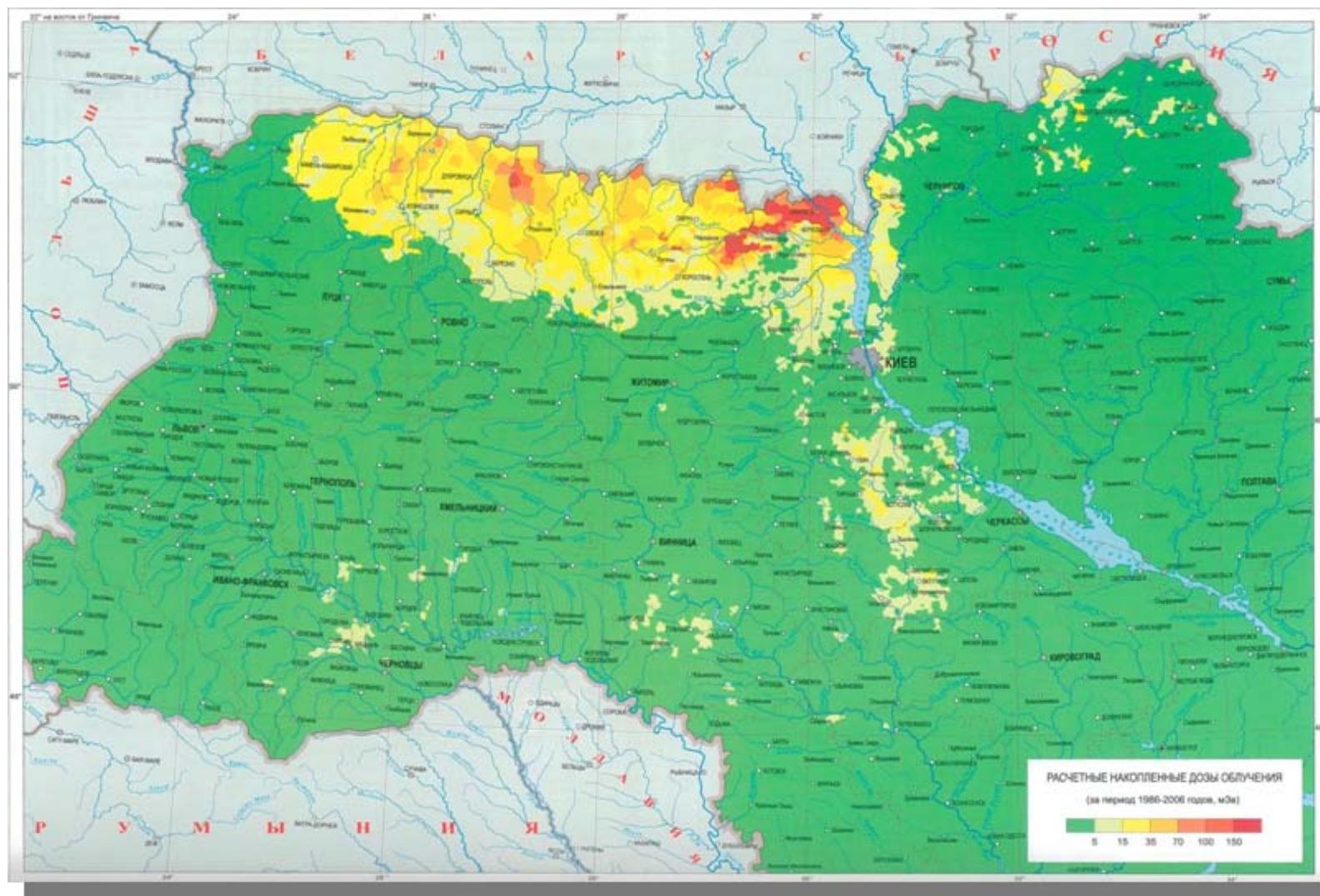


## Смертность от новообразований (2001 г.)



(28+19 смертей, 134 ОЛБ, 250(400) РЩЖ)

## Суммарные эффективные дозы внешнего и внутреннего (от радиоизотопов цезия, стронция и трансурановых элементов) облучения, расчетанные на период 1986–2006 годов (20 лет после аварии)



# Оценка абсолютного и относительного радиационного риска, связанного с чернобыльским облучением для населения радиоактивно загрязненных территорий Украины за 12 лет после аварии.

Величина облучения (мЗв на человека)		<0,5	0,5-1	1-2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-70	70-100	>100	Всего
Население загрязненных территорий	в тыс. человек	1,2	2,6	94,8	1008,2	568,3	465,0	209,6	19,3	1,6	1,2	2371,8
	в процентах	0,05	0,11	4,0	42,5	24,0	19,6	8,8	0,81	0,07	0,05	100
Абсолютный риск (случаи)		0,02	0,07	4,4	96,8	115,7	237,1	249,4	38,1	4,5	4,6	751
Спонтанный уровень (случаи)		47	104	3792	40329	22732	18599	8383	772	66	50	94874
Относительный риск ( $\times 10^{-3}$ )		0,33	0,69	1,2	2,4	5,1	12,8	29,8	49,3	68,0	93,5	7,9
Процент «чернобыльских» раков		0,03	0,07	0,12	0,24	0,51	1,26	2,89	4,70	6,37	8,55	0,79

Likhtarev I. and Kovgan L. General structure of Chernobyl exposure sources and doses of Ukrainian population. International Journal of Radiation Medicine? 1999, 1 (1). – P. 29–38.

# Современные оценки генетических рисков в первом поколении при воздействиях низкого уровня радиоактивного излучения (НКДАР-2001)

Тип заболеваний	Фоновые частоты (на миллион живых рождений)	Риск на 1 Гр на один миллион потомков
<b>Мендельевские аутосомно-доминантные и Х-связанные</b>	16500	-750 до 1500
<b>Мендельевские аутосомно-рецессивные</b>	7500	0
<b>Хромосомные</b>	4000	—
<b>Мультифакторные хронические заболевания</b>	650000	от -250 до 1200
<b>Врожденные аномалии</b>	60000	-2000
<b>Итого</b>	738000	от -3000 до 4700
<b>Итого на 1 Гр в процентах от фона</b>	—	<b>от -0,41 до 0,64</b>

# Практика нормирования после чернобыльской аварии

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

17 стран Европы – 207 тыс. кв. км,

в том числе:

- Россия – 59 тыс. кв. км;
- Беларусь – 43 тыс. кв. км;
- Украина – 38 тыс. кв. км;
- Швеция – 24 тыс. кв.км;
- Финляндия – 19 тыс. кв.км;
- Австрия – 11 тыс. кв.км
- Норвегия – 7 тыс. кв. км.

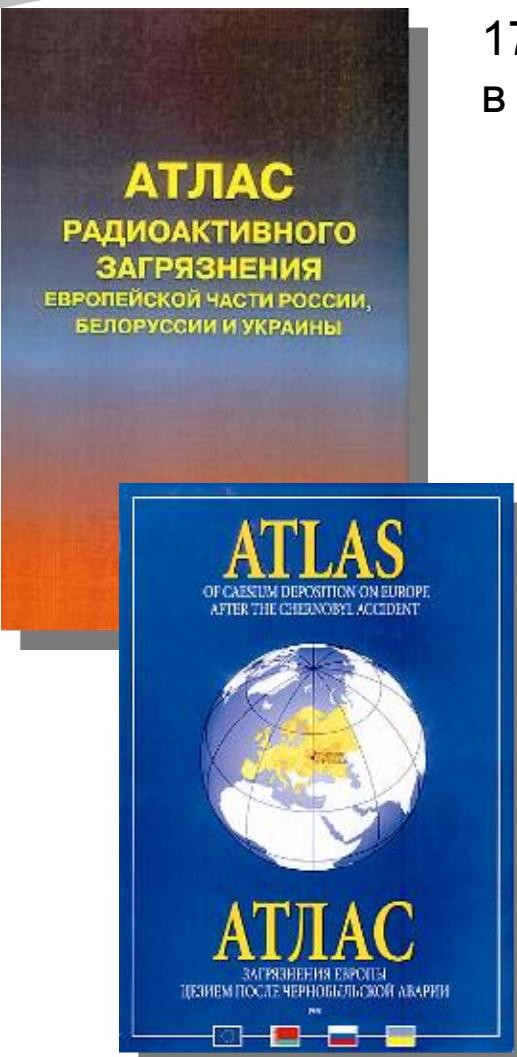
Контрольные уровни загрязнения  $^{131}\text{I}$  в пищевых продуктах в диапазоне 500-5000 Бк/кг в мае 1986 г. были установлены в ряде Европейских стран.

## Сегодня в Норвегии:

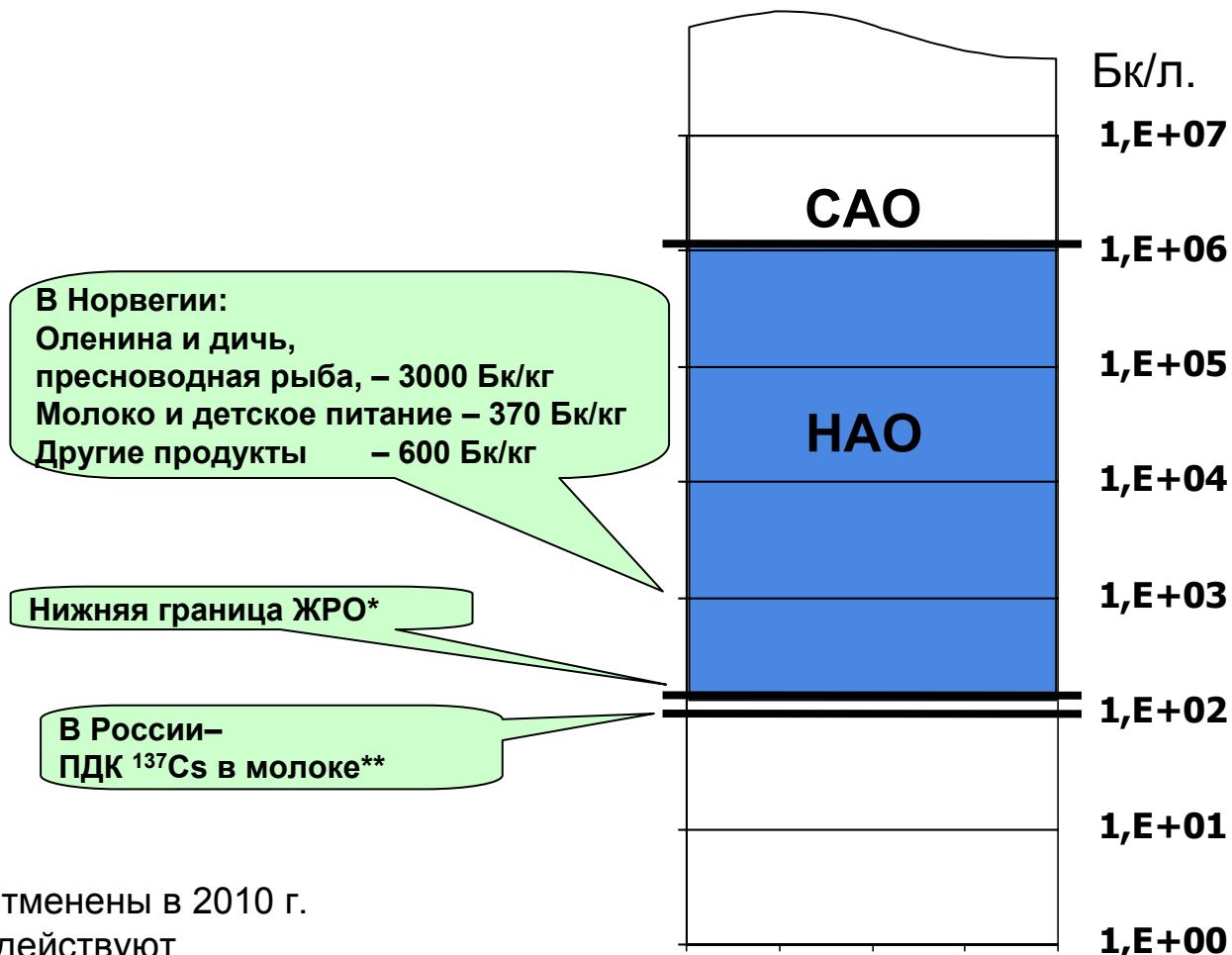
Оленина и дичь,	– 3000 Бк/кг
пресноводная рыба,	– 370 Бк/кг
Молоко и детское питание	– 600 Бк/кг
Другие продукты питания	

## Сегодня в России:

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



# Устранение противоречий между гигиеническими требованиями и требованиями к безопасности технологий



\* отменены в 2010 г.

\*\* действуют

# 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

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

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

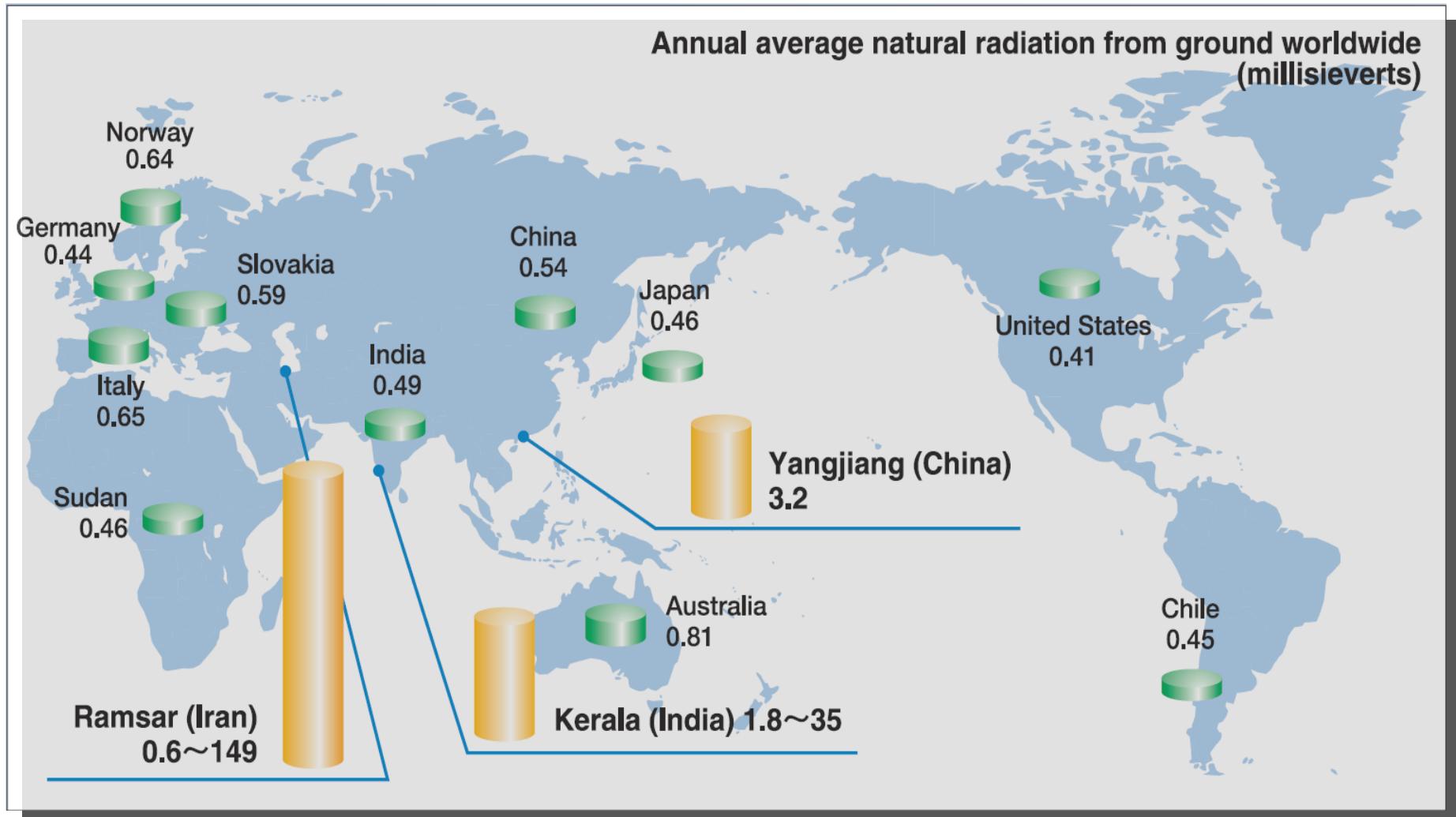
Гуськова А.К. «Медицинские последствия аварии на чернобыльской АЭС. Основные итоги и нерешенные проблемы». Атомная энергия, т. 113, вып. 2, август, 2012,

# Масштаб проблемы

## Что вы знаете о жертвах военного и мирного атома? (Студенты)

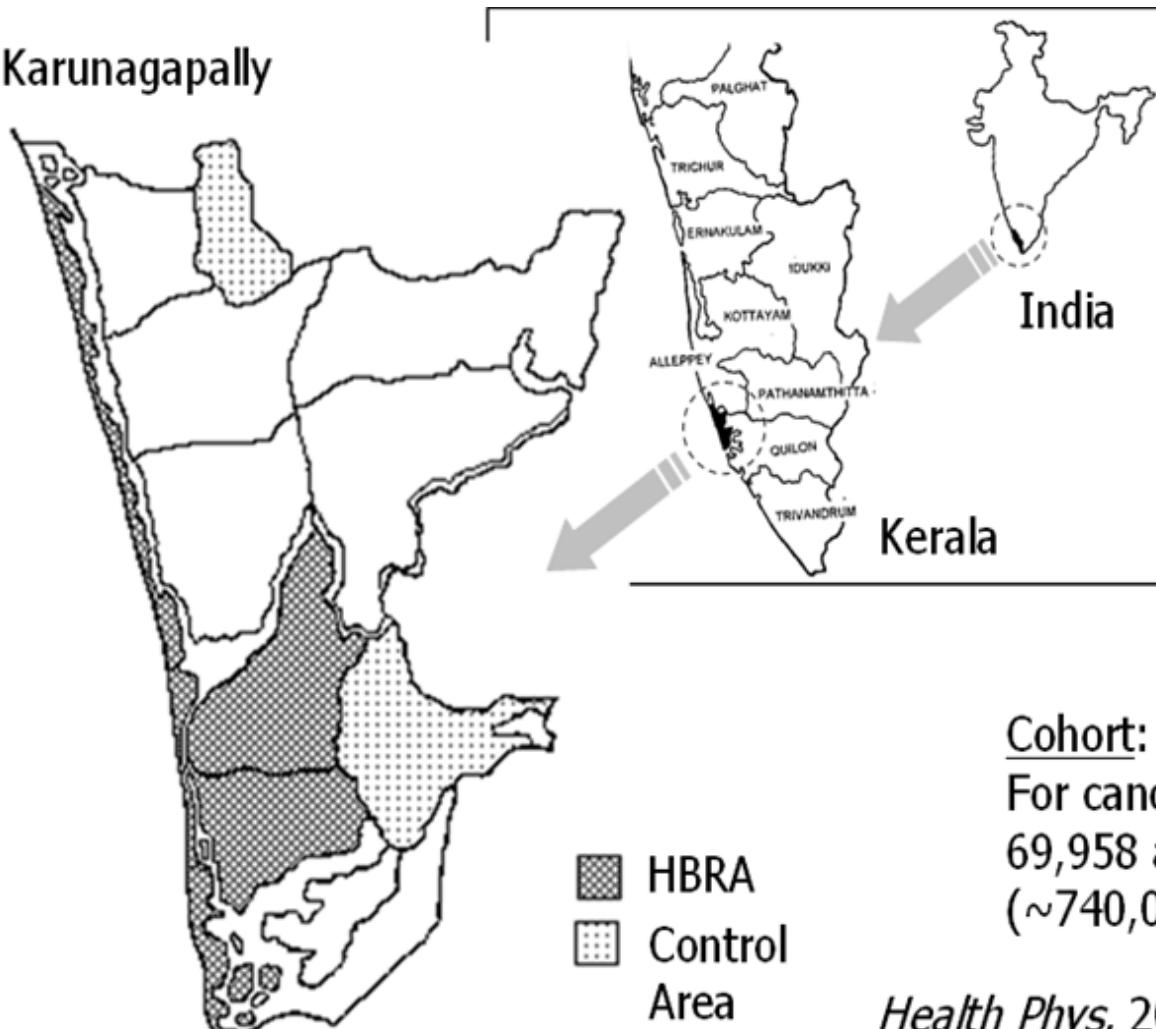
Событие	Реальное число жертв	Оценки студентов
	<b>Мгновенная и быстрая гибель 210 тыс. чел.</b>	<b>Около 300 тыс. чел.</b>
	<b>Отдаленные последствия у 86572 хибакуси – 421 чел.</b>	<b>750 тыс. чел.</b>
	<b>Мгновенная и очень быстрая гибель – 31чел.</b>	<b>40 тыс. чел.</b>
	<b>Отдаленные последствия (ликвидаторы и насел.) ≈ 60 чел.</b>	<b>250 тыс. чел.</b>

# High background radiation area in the world



# Result in India (2009)

Karunagapally



■ HBRA  
■ Control  
Area

Cohort: 173,067  
For cancer incidence:  
69,958 aged 30-84 years  
(~740,000 man year)

*Health Phys.* 2009 Jan;96(1):55-66

**Совместные исследования ученых Индии и Японии показали, что в диапазоне доз 1,5–14,4 мЗв/год риск возникновения рака существенно ниже, чем по результатам наблюдений за облученными в более высоких дозах когортами людей.**

# Обеспечение современного уровня безопасности, учет внешних воздействий

## АЭС с ВВЭР-1000

Использование систем безопасности для преодоления проектных аварий



## АЭС-2006 (ВВЭР-1200)

Применение пассивных средств в системах безопасности – воздушный СПОТ.  
Применение средств управления запроектными авариями – вторая оболочка, ловушка расплава

# АЭС ВВЭР-ТОИ

## УРАГАНЫ, СМЕРЧИ

Расчетная максимальная скорость ветра 56 м/с (сываются крыши домов, крупные деревья вырываются с корнем, опрокидываются ж/д вагоны, сносятся автомобили с шоссе)

## Защита от внешних воздействий

### ПАДЕНИЕ САМОЛЕТА

БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ:  
20.0 тонн со скоростью 200 м/с  
ОПЦИЯ: 400,0 тонн



### УДАРНАЯ ВОЛНА

с давлением во фронте 30 кПа



### СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

БАЗОВЫЙ ВАРИАНТ:

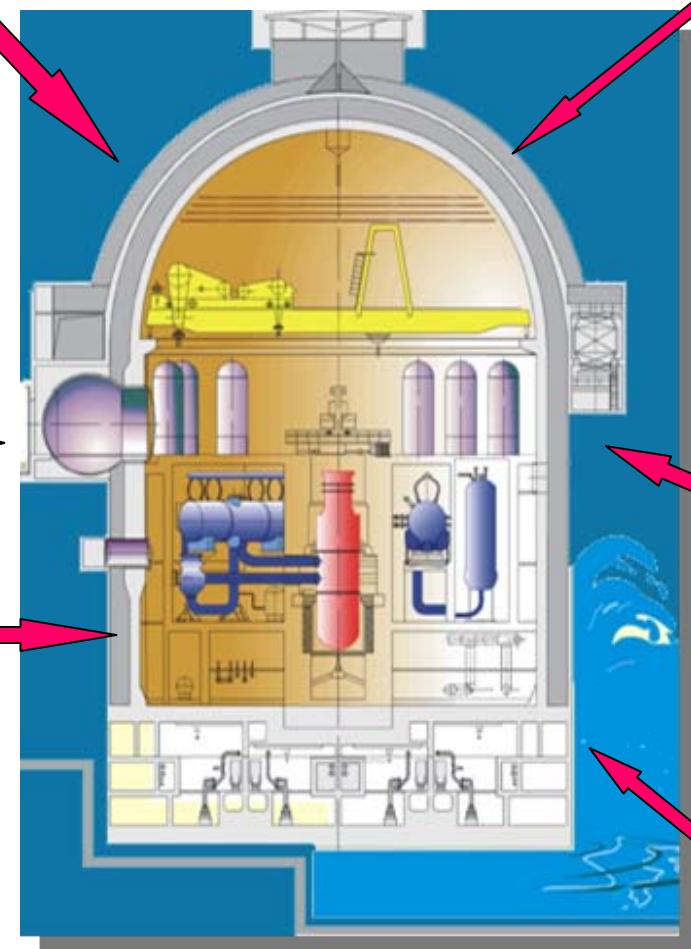
МРЗ – 7 баллов по шкале MSK-64

ПЗ – 6 баллов

ОПЦИЯ:

МРЗ – 9 баллов по шкале MSK-64

ПЗ – 8 баллов



### НАВОДНЕНИЯ, ШТОРМЫ

Применительно к условиям конкретной площадки

### ДЛИТЕЛЬНАЯ ПОТЕРЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПОДАЧИ ВОДЫ

# Время обеспечения расхолаживания при авариях с полным обесточиванием

## Запас времени до разрушения активной зоны реактора

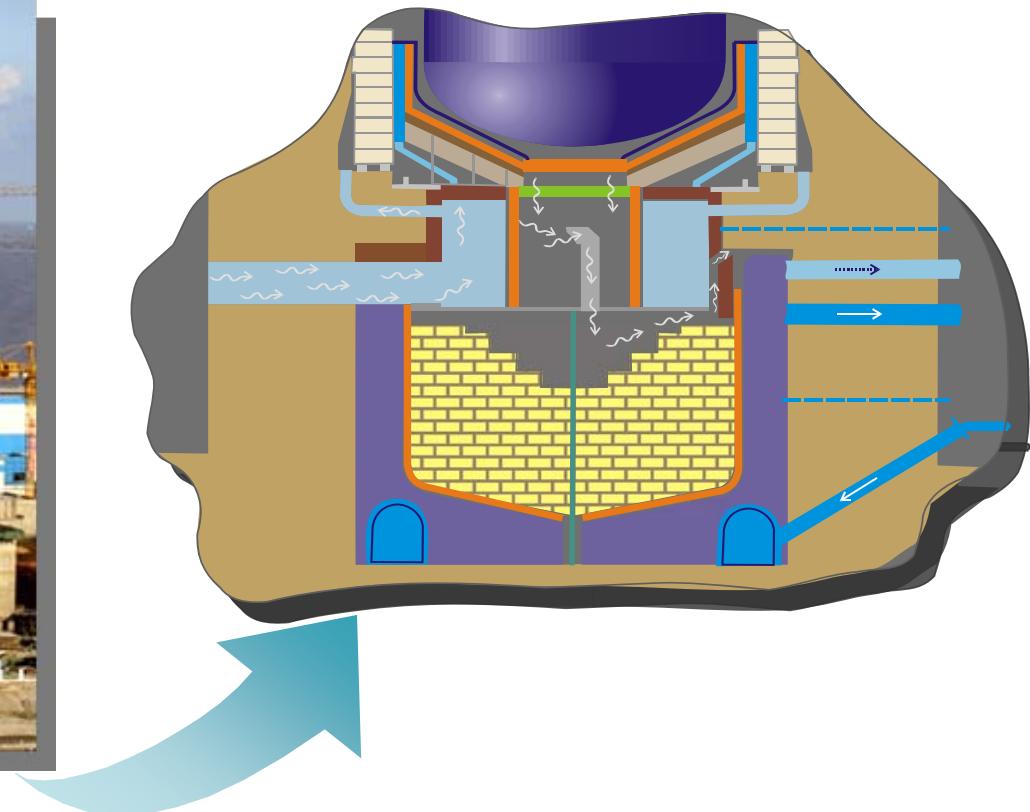
1,5 – 2 часа	АЭС с ВВЭР-1000 (при наличии разрыва трубопроводов 1 контура)
5-6 часов	АЭС с ВВЭР-1000 (при отсутствии разрыва трубопроводов 1 контура)
24 часа	Тяньваньская АЭС, АЭС Куданкулам, АЭС-2006 (при наличии разрыва трубопроводов 1 контура)
72 часа	ВВЭР ТОИ (при наличии разрыва трубопроводов 1 контура)
Неопределенно долго	АЭС Куданкулам, АЭС-2006, ВВЭР ТОИ (при отсутствии разрыва трубопроводов 1 контура)

# Выводы

- Современные российские проекты АЭС соответствуют «постфукусимским» требованиям
- Технические решения проекта ВВЭР ТОИ, обеспечивающие безопасность с учетом «постфукусимских» требований, имеют референтность на:
  - действующей АЭС Тяньвань (Китай) (ловушка + двойная оболочка);
  - вводимой в эксплуатацию АЭС Кунданкулам (Индия) (ловушка + двойная оболочка + СПОТ);
  - строящейся Нововоронежской АЭС-2 (ловушка + двойная оболочка + СПОТ)



# Устройство локализации расплава активной зоны на Тяньванской АЭС



# Территориальная система радиационного мониторинга и аварийного реагирования Мурманской области

