

УДК 621.311.25

**ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ
СРЕДУ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ
НА ЧАЭС И ФУКУСИМА-1**

С.С. Яровой¹, В.И. Скалозубов²

¹Государственная экологическая академия последипломного образования
и управления, dei2005@ukr.net

²Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины ул. Урицкого 35,
903035 Киев, daniilko@mail.ru

В работе представлены результаты сравнительного анализа радиационно-экологических последствий тяжелых аварий на Чернобыльской АЭС и Фукусима-1 для окружающей среды и населения. *Ключевые слова:* тяжелая авария, радионуклиды, радиационно-экологические последствия, суммарный радиоактивный выброс, суммарная активность.

Оцінка радіаційного впливу на навколишнє середовище в результаті важких аварій на ЧАЕС та Фукусіма-1. С.С. Яровой, В.І. Скалозубов. В роботі представлені результати порівняльного аналізу радіаційно-екологічних наслідків важких аварій на ЧАЕС та Фукусіма-1 для навколишнього середовища та населення. *Ключові слова:* важка аварія, радіонукліди, радіаційно-екологічні наслідки, сумарний радіоактивний викид, сумарна активність.

Estimate of radioactive environmental impact as a result of heavy emergencies at Chernobyl NPP and Fukushima-1. S.S. Yarovy, V.I. Skalozubov. The paper presents the results of comparative analysis of radioactive and ecological impact of heavy emergencies at Chernobyl NPP and Fukushima-1 at environment and people. *Keywords:* heavy emergency, radionuclides, radioactive and ecological impact, total radioactive discharge, total activity.

Введение

Четверть века тому мирный атом вышел из-под контроля человека, что повлекло за собой самую страшную техногенную аварию за всю историю человечества, которая принесла много боли, печали и трагизма. Масштабы Чернобыльской катастрофы хо-

рошо известны как ученым, так и политикам всего мира [1]. В окружающую среду попало около 3% трансурановых элементов, от их общего количества накопленного на момент аварии в 4-м энергоблоке ЧАЭС, что составляет более 300 МКи или $1,3 \cdot 10^{19}$ Бк радионуклидов. Авария привела к загрязнению более 145

тыс. км² территории Украины, Республики Беларусь и Российской Федерации, плотность загрязнения радионуклидами ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr которой превысила 37 кБк/м². Вследствие Чернобыльской катастрофы пострадало почти 5 миллионов людей, загрязнено радиоактивными нуклидами около 5 тысяч населенных пунктов Республики Беларусь, Украины и России. Из них в Украине - 2293 поселков и городов с общим населением примерно 2,6 млн. человек. Авария на ЧАЭС привела к беспрецедентному облучению населения указанных выше государств. По уникальности структуры распространения: пространственной, временной, профессионально-возрастной, а также по сочетанию внешнего и внутреннего облучения, она не имеет аналогов в истории техногенных катастроф.

В результате аварии на 4-м блоке ЧАЭС были уничтожены барьеры и системы безопасности, защищающие окружающую среду от радионуклидов, содержащихся в облученном топливе. Выброс активности из поврежденного реактора на уровне десятков миллионов Кюри в сутки длился 10 дней - с 26 апреля по 6 мая, после чего снизился в тысячи раз.

Процессы, происходившие в течение активной стадии аварии ЧАЭС, до сих пор полностью не изучены. Также требуют дальнейшего исследования процессы воздействия на окружающую среду загрязненных территорий, миграции и трансформации радиоактивных веществ и т.п. [2-5]

Чернобыльская авария определила необходимость достоверной оценки величины радиоактивного загрязнения окружающей среды и ра-

диологических последствий. После аварии оценку радиационного выброса из разрушенного реактора РБМК-1000 в атмосферу проводили различные эксперты независимыми методами. Тем не менее, до настоящего времени проблема согласования результатов оценок суммарной величины выброса и динамики изменения интенсивности основных радионуклидов во времени и пространстве в начальный период аварии остается нерешенной. Неопределенность данных оценок связана с длительностью и не монотонностью выброса радиоактивных веществ из аварийного реактора, сложностью и неоднозначностью нуклидного и физико-химического состава выброса, трансформации и миграции выброшенных веществ, а также другими факторами.

Изложение основного материала

В данной работе делается попытка провести критический анализ имеющихся данных касающихся оценки информации по Чернобыльским выбросам. Для достижения этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) рассмотреть данные отечественных и зарубежных источников по радиоактивному выбросу при Чернобыльской аварии;
- 2) проанализировать данные по суммарному выбросу основных доз образующих радионуклидов в атмосферу, их понуклидный состав и динамику изменения первичного выброса в начальный период аварии;
- 3) провести сравнительную оценку результатов Чернобыльского вы-

броса, сделанных экспертами различных стран мира.

Основные выбросы радионуклидов в атмосферу из 4-го энергоблока ЧАЭС представляли собой нестационарный характер и продолжались в течении нескольких суток. В состав выбросов входили радиоактивные газы, конденсированные аэрозоли и диспергированное ядерное топливо. В общем продукты радиационной аварии включали в себя большой перечень радионуклидов с различными физическими, химическими и радиологическими свойствами.

Состав радиоактивных веществ на первой стадии выброса соответствовал примерно их составу в облученном до аварии ядерном топливе по обогащению летучими соединениями нуклидов: органические соединения йода (CH_2I) молярные соединения йода ($^{131,132,133,134,135}\text{I}$), цезия ($^{134,137}\text{Cs}$), теллура (^{132}Te), а также инертных газов криптона ($^{85\text{m}, 87,88}\text{Kr}$) и ксенона ($^{133,135}\text{Xe}$).

Во второй стадии развития аварии мощность радиоактивных выбросов

со временем постепенно уменьшалась из-за прекращения процесса горения и спада интенсивности тепловыделения в разрушенной активной зоне. Тепловым воздушным потоком из разрушенного реактора было поднято мелкодисперсные частицы ядерного топлива и продукты сгорания графитовой кладки.

Третья стадия характеризовалась быстрым наращиванием выхода продуктов деления в газообразной форме (цезий и рутений) за пределы разрушенного реакторного здания. Образование частиц ^{103}Ru и ^{106}Ru могло происходить за счет окисления рутения, находившийся на поверхности диспергированного ядерного топлива с последующим его восстановлением из летучего оксида RuO_4 на доли конструктивных материалов. Топливные летучие частицы выпадали преимущественно в ближней зоне ЧАЭС - до 30 км. С увеличением расстояния от источника выброса увеличивалась доля частиц рутения.

Таблица 1.4

Оценка газообразных продуктов деления, попавших в атмосферный воздух в результате Чернобыльской аварии

Радиоактивные газы, накопившиеся в активной зоне реактора РБМК-1000 26 апреля 1986			Общий объем выбросов радиоактивных газов при аварии	
Радионуклид	Период полураспада, T _{1/2}	Активность, ПБк	Активность, ПБк	Содержание радиоактивных газов, %
^{135}Xe	5,3 суток	6500	6500	100
^{131}I	8,04 суток	3200	~1760	(50÷60)
^{134}Cs	2,06 лет	180	~54	(20÷40)
^{137}Cs	30,2 лет	280	~85	(20÷40)
^{132}Te	78 часов	2700	~1150	(25÷60)
^{103}Ru	39,28 суток	4800	~168	3,5
^{106}Ru	368,2 суток	2100	~73	3,5
^{141}Ce	32,5 суток	5600	~196	3,5
^{144}Ce	284,3 суток	3300	~116	3,5

На четвертой стадии развития аварии в течение трех суток наблюдался процесс стабилизации выбросов радионуклидов в окружающую среду. Во время аварии происходило также образование конденсационных частиц за счет конденсации быстрых летучих продуктов деления (радиоизотопы ^{131}I , ^{134}Ce , ^{137}Cs , ^{132}Te и др., вышедшие из матрицы ядерного топлива при высоких температурных показателях) на частицах графитовой пыли и конструкционных материалов. Удельная активность этих радионуклидов в летучих долях во многих случаях определялась промежуток времени более 3-х суток и температурой конденсации ($T > 3000$

К), характеристиками поверхности частиц и т.д.

На пятой стадии аварии (на 10 сутки) наблюдалось резкое уменьшение выброса радионуклидов в атмосферу. Радионуклидный состав выбросов основных газоаэрозольных частиц представлено в табл.1.4.

Из данных, приведенных в табл. 1, видно, что разница в общем объеме радионуклидного выброса в воздухе во время Чернобыльской аварии для некоторых радиоактивных газов достигала от 20 до 60%.

Первоначальная информация о Чернобыльском выбросе была представлена советскими и зарубежными экспертами в различных изданиях (табл. 1.5) [2-5].

Таблица 1.5

Первичная расчетная оценка суммарного радиоактивного выброса при аварии на ЧАЭС, ПБк

Радионуклид	Страна [источник]			
	СССР [2]	США [3]	Англия [4]	Франция [5]
^{131}I	270,5	259,2	269,7	670
^{132}Te	148	74,0	48,1	22,9
^{137}Cs	11,2	29,9	36,6	73,4
^{90}Sr	0,06	6,6	7,9	–
^{103}Rn	22,2	111,0	119,8	61,2
^{106}Ru	0,74	33,7	58,7	31,1
^{144}Ce	16,7	92,5	88,9	0,07

Данные представленные в табл. 1.5, свидетельствуют, что разброс результатов расчетных оценок суммарного выброса для одних и тех же радионуклидов отличается в несколько раз, а для рутения и стронция отличается на несколько порядков. В тоже время суммарная активность выброса основных дозообразующих нуклидов ^{131}I и ^{137}Cs согласуются между собой с погрешностью, не превышающей 50 %.

Приведенные в табл. 2 результаты данных, по уточненным оценкам суммарного выброса основных радионуклидов, показывают существенный разброс, например, по изотопам теллура, йода, рутения и нептуния. Различие данных по ^{137}Cs не превышает 55 %, ^{140}Ba – 20 %, а для ^{144}Ce – 60 %. Поэтому уточнение суммарной активности Чернобыльских выбросов, выполненных различными авторами с использованием различных подходов и методов, мо-

гут рассматриваться как достаточно надежные.

Следует отметить, что баланс ядерного топлива в 4-м блоке ЧАЭС до и после аварии до сих пор не сведен. Официальные данные по оценке выброса ядерного топлива за пределы разрушенного реактора, представленные в докладе МАГАТЕ в 1986 году, составляли (3÷4) % от полной загрузки реактора РБМК-1000 (190 тонн UO_2 обогащением 2 %), т.е. около 6÷8 тонн.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных сотрудниками ГЕОХИ им. В.И. Вернадского АН СССР (Москва) в мае-июне 1986 года показали, что выброс ядерного топлива на исследуемой территории составил (8÷10) %, т.е. около (15,8÷19,0) тонн.

В 2000 году сотрудники Украинского научно-исследовательского института сельскохозяйственной радиологии (УкрНИИСХР, г. Киев), установили, что количество ядерного топлива, выброшенное в окружающую среду за пределы промплощадки ЧАЭС, составило (1,5±0,5) %, т.е. (2,85±0,95) тонн ядерного топлива, что в два раза ниже общепринятых.

Поэтому, вопрос о количестве выброшенного за пределы разрушенного реактора ядерного топлива остается открытым.

Во время аварии на 4-м блоке ЧАЭС в атмосферу было выброшено до 100 % разных благородных газов, (20÷60) % изотопов йода, (15÷40) % изотопов цезия, и (3÷4) % менее летучих радионуклидов (^{95}Zr , ^{90}Sr ,

$^{103,106}Rn$, $^{140,144}Ce$ и транс плутониевые элементы) от их общего содержания в работающем реакторе на момент аварии. Следует отметить, что наиболее достоверные данные были получены только для суммарного выброса ^{137}Cs спустя 20 лет после аварии. До настоящего времени нет надежных и однозначных данных о количестве выбросов ядерного топлива во время аварии на 4 блоке ЧАЭС.

Уточненные оценки суммарной активности основных радионуклидов, выброшенных в ходе Чернобыльской аварии, приведенные в отечественных и иностранных изданиях [6, 10–16], показаны в табл. 1.6.

Очевидно, что для понимания ядерно-физических процессов, происходящих в разрушенном реакторе, необходимо знать не только состав и интегральное количество выброшенных в атмосферу радионуклидов, но и динамику их выбросов в начальной стадии аварии. В табл. 1.7 приведены данные о динамике радиоактивных выбросов основных дозообразующих нуклидов ^{131}I и ^{137}Cs из разрушенного 4-го блока ЧАЭС в начальный период аварии [5 6, 10-15]. Из данных, приведенных в табл. 1.7, видно незначительное расхождение в динамике выброса радионуклидов, восстановленное экспертами в 1986-1987 годах, а затем замечен резкий рост количества выброшенного ^{131}I в последующих уточненных оценках.

Таблиця 1.6

Уточненные оценки суммарной активности основных радионуклидов, выброшенных в ходе Чернобыльской аварии

Радионуклид	Период полураспада, T _{1/2} , час.	Активность выброса, ПБк (%), [источник]			
		[6, 10]	[11, 12]	[13, 14]	[15, 16]
⁸⁵ Kr	1,2·10 ⁵	–	33 (100)	33 (100)	–
¹³⁵ Xe	1,21·10 ²	185 (100)	1670 (100)	6500 (100)	6500 (100)
¹³² Te	7,82·10 ¹	150 (20)	48 (15)	1040 (20)	~115 (25–60)
¹³¹ I	1,93·10 ²	167 (10)	480 (20)	1760 (50)	~1760(50–60)
¹³⁴ Cs	1,81·10 ⁴	6 (8)	18 (10)	47 (15)	~54 (20–40)
¹³⁷ Cs	2,64·10 ⁵	21,3 (10)	37,4 (13)	80,3 (20)	~85 (20–40)
⁸⁹ Sr	1,21·10 ⁵	9,2 (1)	81 (4)	115 (5)	~115 (4–6)
⁹⁰ Sr	2,5·10 ⁵	6,8 (1)	8,0 (4)	10 (5)	~10 (4–6)
¹⁰⁵ Ru	9,44·10 ²	20 (2)	120 (2,9)	168 (3)	>168 (3,5)
¹⁰⁶ Ru	8,84·10 ³	7 (2)	59 (2,9)	73 (3)	>73 (3,5)
¹⁴⁰ Ba	3,07·10 ²	19 (5)	160 (5,6)	240 (5)	~240 (4–6)
⁹⁵ Zr	1,54·10 ³	17 (1)	140 (3,2)	84 (3)	196 (3,5)
¹⁴¹ Ce	7,8·10 ²	15 (1)	100 (2,3)	84 (3)	196 (3,5)
¹⁴⁴ Ce	6,82·10 ³	17 (2,0)	89 (2,8)	50 (3)	~116 (3,5)
²³⁹ Np	5,64·10 ¹	99(3)	44 (3,2)	400 (3)	945 (3,5)
²³⁸ Pu	7,68·10 ⁵	0,01 (2,8)	0,03 (3)	0,015 (3)	0,035 (3,5)
²³⁹ Pu	2,14·10 ⁸	0,018(2,9)	0,026 (3)	0,013 (3)	0,03 (3,5)
²⁴⁰ Pu	5,73·10 ⁷	0,02(3,0)	0,037 (3)	0,018 (3)	0,042 (3,5)
²⁴¹ Pu	1,33·10 ⁵	0,7 (3)	5,0 (3)	2,6 (3)	~6,0 (3,5)
²⁴² Pu	3·10 ⁹	5·10 ⁻³ (3)	7·10 ⁻³ (3)	4·10 ⁻³ (3)	–
²⁴² Cm	3,91·10 ⁵	6·10 ⁻⁴ (3)	0,78 (3,2)	0,4 (3)	~0,9(3,5)

Таблиця 1.7

Динамика изменения суточных выбросов ¹³¹I и ¹³⁷Cs из разрушенного реактора

Дата	Активность выброса, ПБк, [источник]							
	¹³¹ I [6, 10]	¹³⁷ Cs [6 10]	¹³¹ I [5]	¹³⁷ Cs [12]	¹³¹ I [11]	¹³⁷ Cs [13]	¹³¹ I [14]	¹³⁷ Cs [15]
26.04	17	6,8	149	7,1	30	15,2	704	20
27.04	26	1,1	46	3,8	114	14,1	204	12
28.04	20	1,0	42	1,1	152	10,3	150	9
29.04	18	0,9	33	2,3	54	10,0	102	6
30.04	8	0,5	20	1,9	10	2,9	69	5
01.05	6	0,6	21	2,5	12	2,4	62	4
02.05	19	2,0	41	3,2	15	3,1	102	6
03.05	22	2,4	106	4,7	20	4,2	107	7
04.05	20	3,3	104	5,0	32	5,0	129	8
05.05	21	2,7	110	5,8	42	9,1	131	8
Полный выброс	167	21,3	670	37,4	480	80,3	1760	85

Проведенный сравнительный анализ Чернобыльского выброса позволил сделать следующие выводы:

1) итоговая оценка суммарного выброса основных радионуклидов во время начальной стадии аварии на ЧАЭС, проводимая различными специалистами, к сожалению, не является окончательной и достоверной, т.е. имеет консервативную, а не реальную основу;

2) большие расхождения в оценке динамики выброса ^{131}I и ^{137}Cs можно объяснить пространственными особенностями формирования полей радиоактивного загрязнения в отдельные периоды начальной стадии аварии, неполной и недостаточной достоверностью входной метеоинформации;

3) в дальнейшем необходимо провести пересмотр официальных данных по составу, величине и динамике выброса радионуклидов в результате Чернобыльской аварии.

Источниками поступления радионуклидов с АЭС Фукусима-1 в окружающую среду могли стать поврежденные реакторы блоков № 1 - 3 и бассейны с отработанным ядерным топливом, которые находились в разрушенных зданиях реакторного отделения.

В результате, по предварительным оценкам эксплуатирующей компании ТЕРСО, за один месяц, прошедший после аварии до 13 апреля 2011 г., объем выброса радиоактивного йода-131 в окружающую среду составил 10^5 ТБк, а объем выброса цезия-137- 10^4 ТБк. Эти данные совпадают с оценками Агентства по ядерной и промышленной безопасности Японии NISA.

Но 7 июня NISA повысило уровень радиоактивного загрязнения окружающей среды, происшедшего в первую в первую неделю после аварии на АЭС Фукусима-1: в период с 11 по 16 марта суммарный выброс радионуклидов составили 770 тыс. ТБк. Согласно прежним оценкам объем выбросов за этот период составил 370 тыс. ТБк. Кроме того, по оценке NISA, расплавление активной зоны в начальный период происходило быстрее, чем ранее предполагалось.

По оценкам ТЕРСО, опубликованным 3 июня, на АЭС Фукусима-1 скопилось свыше 105 тыс. тонн воды, содержание радионуклидов в которой составляет порядка 720 тыс. ТБк. Позже появилась информация о том, что эксперты из японского университета Канадзавы выявили наличие радиоактивных изотопов плутония в почве вблизи АЭС, что также может свидетельствовать о разрушении корпуса одного из (или нескольких) реакторов и подтверждает тот факт, что температура внутри реактора все еще остается критической [17].

Для сравнения: при аварии на Чернобыльской АЭС суммарная активность веществ, выброшенных в окружающую среду, составила, по разным оценкам, до $14 \cdot 10^6$ ТБк, в том числе $1,8 \cdot 10^6$ ТБк йода-131, $0,085 \cdot 10^6$ ТБк цезия-137, $0,01 \cdot 10^6$ ТБк стронция-90, $0,003 \cdot 10^6$ ТБк изотопов плутония, на долю благородных газов приходилось около 50 % от суммарной активности.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что авария на АЭС Фукусима-1 по своим радиационным последствиям не намного отстает от

чернобыльской. Общий объем радиационного выброса с АЭС Фукусима-1 по предварительным оценкам составляет около 15 % от выброса чернобыльской аварии за тот же промежуток времени.

С первых дней аварии специалисты ТЕРСО, NISA, Токийского центра ВАО АЭС, Министерства здравоохранения, труда и социального обеспечения Японии, Министерства образования, культуры, спорта, науки и технологий и других организаций, а также эксперты из МАГАТЭ, начали контролировать уровни радиации около АЭС Фукусима-1 и за ее пределами и информировать об этом общественность как в своей стране, так и во всем мире.

Относительно объективности предоставляемой информации в на-

стоящее время имеются различные мнения. Например, из информации, полученной 5 апреля от JAIF, стало известно, что правительство Японии скрывает от широкого представления данные о радиационной обстановке, которые были получены до 16 марта с помощью специальной компьютерной программы SPEEDI и которые показывают высокий уровень радиационного загрязнения окружающей среды за пределами 30 км от АЭС Фукусима-1. Эта программа дает прогноз распространения радиоактивных веществ в течение 24 часов, исходя из заданных данных. Однако правительство не предоставило всей информации о прогнозах программы SPEEDI до 23 марта.

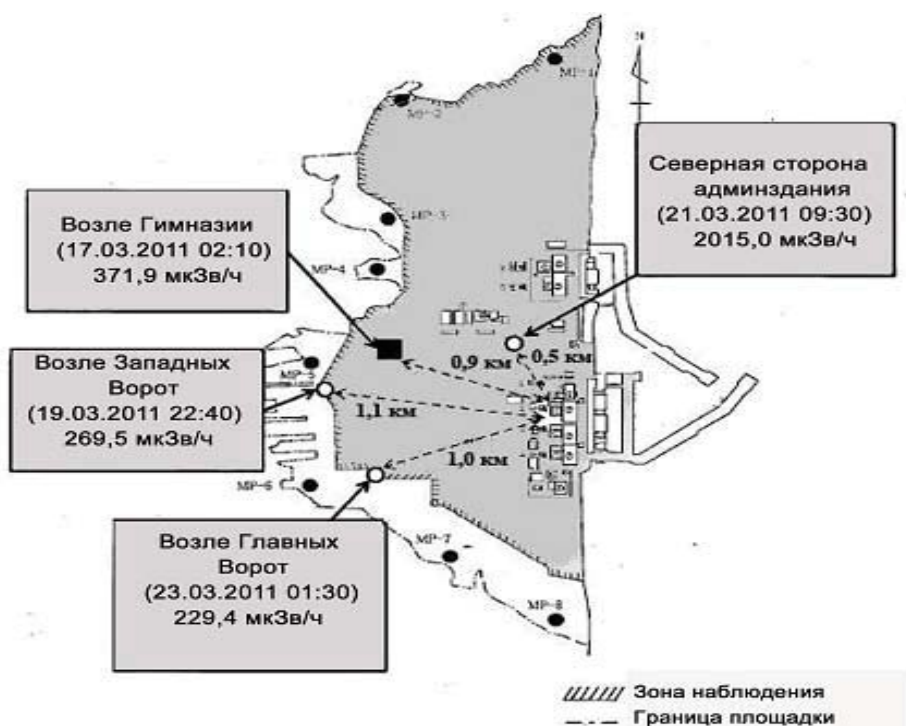


Рис. 1.16. Данные мониторинга площадки АЭС Фукусима-1 (по киевскому времени).

Результаты расчетов показали, что радиоактивные вещества предположительно могли распространиться в северо-западном и юго-восточном направлениях от АЭС, а уровни радиации, мощность которой составляла более 100 мкЗв/ч, могли иметь место в некоторых районах вне 30-км зоны, где люди находились практически под открытым небом 24 часа в сутки с 12 по 24 марта. Т.е. уровень излучения в 100 раз превышал лимит, установленный международной организацией по радиационной защите. Однако Комиссия по ядерной безопасности не подтверждает прогноз компьютерной программы, так как согласно ее данным на тот момент уровень утечки радиоактивных веществ нельзя было точно определить.

Тем не менее, проследить тенденции в изменении радиационной обстановки в регионе расположения

АЭС можно. Это позволяет сделать информация о развитии событий на АЭС Фукусима-1, которую регулярно предоставляли с 12 марта и до конца мая Государственная инспекция ядерного регулирования Украины и ГП НАЭК «Энергоатом» на своих сайтах. Информация основывалась на сообщениях МАГАТЭ, ТЕРСО, NISA, JAIF и других организаций. Приведем здесь некоторые данные, предоставленные в информационных материалах этих организаций во временной последовательности со дня аварии.

Уровень радиационного фона возле АЭС Фукусима-1 и за пределами 30-км зоны до 16 марта хоть и повышался, однако оставался ниже того уровня, который требовал принятия мер защиты. Опасности для здоровья населения он не представлял.

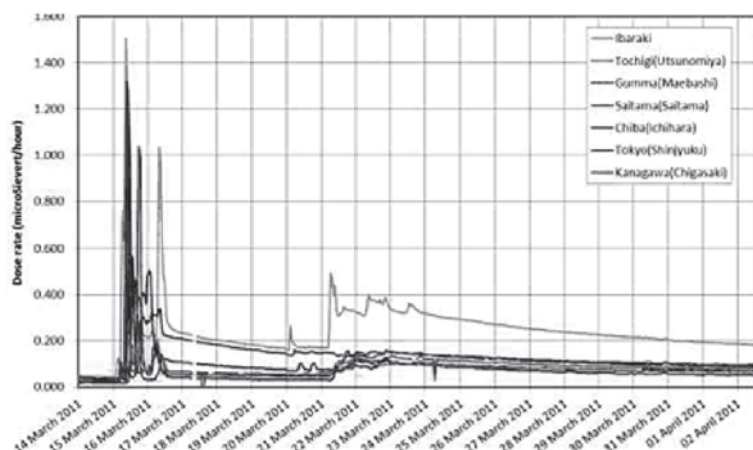


Рис. 1.17. Мощность дозы гамма-излучения с 15 марта по 3 апреля 2011 г.

23 – 24 марта 2011 г. Радиационная обстановка на площадке АЭС Фукусима-1 представлена на рис. 1.16 (по официальным сообщениям

МАГАТЭ). Мощность дозы гамма-излучения на границе площадки составляла от 229,4 (возле Главных ворот, 1,0 км на юго-запад от АЭС) до

2015,0 мкЗв/ч (возле админздания, 0,5 км на северо-запад от АЭС).

На расстоянии 3,3 км от АЭС в море концентрация радиоактивных изотопов I-131, цезия-134 и цезия-137 в 2-3 раза превышала допустимые уровни.

В 75-км зоне от АЭС в некоторых населенных пунктах 10 из 48 префектур выявлены факты превышения цезия-137 и йода-131 в питьевой воде, молоке, овощах. Потребление в пищу этих продуктов было временно запрещено.

5 апреля 2011 г. С 23 марта наблюдалась тенденция к снижению уровня мощности дозы гамма-излучения (график для семи префектур приведен на рис. 1.17).

NISA обнародовало данные мониторинга щитовидной железы 946 детей в возрасте до 15 лет. Результаты всех измерений оказались ниже установленных критериев.

Министерство сельского хозяйства Японии информирует, что сельскохозяйственные животные на сезонном стойловом содержании и употребляют в пищу сухие корма, которые не были загрязнены в результате ава-

рии. Фермерам рекомендованы дополнительные меры по защите животных от попадания радионуклидов с пищей и водой. В связи с продолжающимся загрязнением морской воды введен запрет на промышленный лов рыбы и другую хозяйственную деятельность в море на территории радиусом 40 км от АЭС.

16 – 17 апреля 2011 г. В 45 из 47 префектур Японии мощность дозы гамма-излучения находилась на уровне природного фона и составляла от 0,05 до 0,1 мкЗв/ч. В то же время в префектуре Фукусима максимальная мощность дозы составляла до 20,0 мкЗв/ч, а в префектуре Ибараки – 1,4 мкЗв/ч.

Уровни дозы облучения на границе площадки АЭС и за ее пределами в период с 18 марта по 15 апреля 2011 г. приведены на рис. 1.18 – 1.20.

20 мая 2011 г. Существенных изменений в уровне радиационного фона на площадке АЭС и в наиболее загрязненных префектурах (Фукусима, Ибараки) не наблюдалось.

29 мая 2011 г. Количество радиоактивных веществ в воде возле АЭС в 600 раз превышает норму.

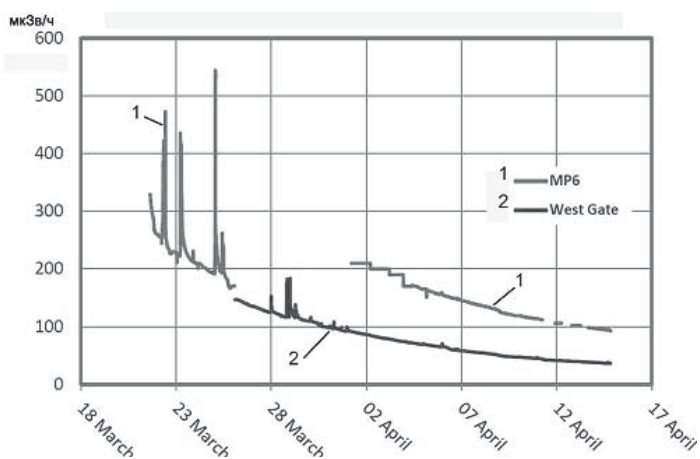


Рис. 1.18. Уровень дозы облучения на границе площадки АЭС Фукусима-1.

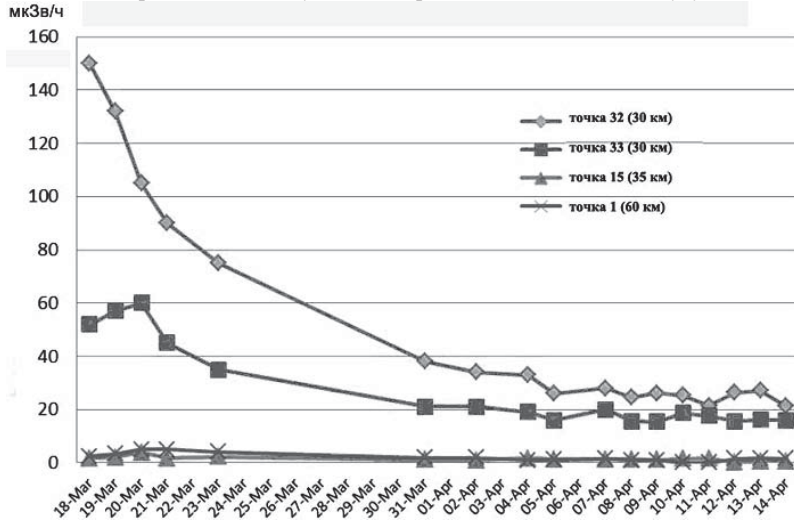


Рис. 1.19. Уровень дозы облучения за пределами площадки АЭС Фукусима-1.

Наблюдается общая тенденция к медленному уменьшению уровня фона и радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды на площадке АЭС и за ее пределами. Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что в результате аварии на АЭС Фукусима-1

уровни радиоактивного загрязнения окружающей среды, начиная с 16 марта, значительно превышали природные (фоновые) и предельно допустимые значения для населения не только на границе площадки АЭС, но и за пределами 30-км зоны.

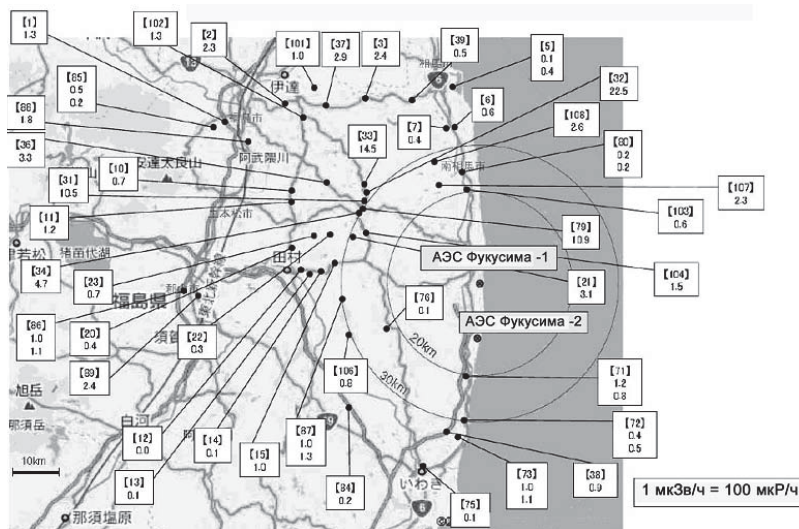


Рис. 1.20. Уровень дозы облучения возле АЭС Фукусима-1 15 апреля 2011 г., мкЗв/ч.

Ниже приведены отдельные результаты по измерению и анализу радионуклидов в разных местах и в разное время, полученные эксплуатирующей организацией ТЕРСО.

Большие плотности активности были обнаружены в пробах морской воды при измерении 500 мл за 1000 с в германиевом твердотельном детекторе. Больше всего короткоживущих изотопов, за исключением Cs¹³⁴ с периодом полураспада 2 года и Cs¹³⁷ с периодом полураспада 30,17 лет.

Таблица 1.8

Анализ нуклидов в воздухе у западных ворот Фукусима Daiichi 27 марта 2011 г. Данные: ТЕРСО

Нуклид	Плотность активности, Бк/м ³	Предел обнаружения, Бк/м ³
I ¹³¹	4,5·10 ⁻⁴	8,2·10 ⁻⁶
I ¹³²	1,8·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁴
Cs ¹³⁴	1,2·10 ⁻⁵	6,4·10 ⁻⁶
Cs ¹³⁷	1,4·10 ⁻⁵	6,2·10 ⁻⁶
I ¹³¹	2,1·10 ⁻⁴	9,5·10 ⁻⁶
I ¹³²	—	—
Cs ¹³⁴	1,6·10 ⁻⁵	8,8·10 ⁻⁶
Cs ¹³⁷	1,4·10 ⁻⁵	9,5·10 ⁻⁶
Te ¹²⁹	2,6·10 ⁻²	2,2·10 ⁻²
Te ^{129m}	1,9·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻⁴
Te ¹³²	1,2·10 ⁻⁴	5,7·10 ⁻⁶

В этой ситуации очень своевременными оказались меры радиационной защиты населения, предпринятые японскими властями. Во-первых, уже 11 марта было объявлено об аварии и эвакуации всех жителей, проживающих в пределах 3-км зоны АЭС, 12 марта – об эвакуации жителей 10-км зоны, а затем и 20-км зоны, всего – более 185 тыс. человек. С 16 марта была проведена йодная профилактика среди эвакуированных и объявлено о запрещении приема в

пищу молока, зеленых овощей (лук, шпинат и др.), ограничении потребления водопроводной и питьевой воды.

Таблица 1.9

Анализ нуклидов в морской воде в 30 м севернее Фукусима Daiichi из сбросного канала блоков № 5 и 6 29 марта 2011 г. Данные: ТЕРСО

Нуклид	Период полураспада	Плотность активности, Бк/м ³	Предел обнаружения, Бк/м ³
I ¹³¹	8,041 дня	2,7·10 ⁺¹	4,2·10 ⁻²
Cs ¹³⁴	2,062 столетия	5,6·10 ⁺⁰	3,2·10 ⁻²
Cs ¹³⁶	13,10 дня	5,6·10 ⁻¹	3,2·10 ⁻²
Cs ¹³⁷	30,17 столетия	5,7·10 ⁺⁰	2,8·10 ⁻²
Ba ¹⁴⁰	12,79 дня	8,8·10 ⁻¹	1,2·10 ⁻¹
La ¹⁴⁰	40,23 ч	3,7·10 ⁻¹	8,5·10 ⁻³

Перечисленные выше меры позволили уменьшить дозу облучения населения в несколько раз и этим самым снизить вероятность возникновения онкологических заболеваний в будущем. Конкретную цифру назвать сейчас невозможно из-за отсутствия соответствующей информации. Однако, исходя из анализа данных по ликвидации последствий на Чернобыльской АЭС, можно предположить, что в результате предпринятых японскими властями мер, дозовые нагрузки на население были снижены не менее чем в 4-5 раз.

Следует заметить, что несвоевременно проведенная йодная профилактика, запрет на потребление свежего молока и молочных продуктов, некоторых овощей, а также замалчивание аварии на протяжении наиболее решающих для осуществления

защитных мер дней привели к тому, что при чернобыльской аварии на загрязненных территориях в щитовидной железе детей и взрослых были сформированы биологически значимые дозы, приведшие к резкому увеличению частоты раковых заболеваний. В этом плане печальный опыт чернобыльской аварии по применению защитных мер для населения в Японии в значительной мере был учтен.

Через шесть дней после аварии на АЭС ее последствия начали ощущать на себе жители других стран. Метеорологические особенности в районе расположения Японских островов таковы, что в это время года (весна) ветер направлен в основном в сторо-

ну Американского континента. Поэтому уже с 18 по 22 марта на западном побережье Канады в атмосфере были обнаружены радионуклиды йода-131 ($0,00055-0,00363$ Бк/м³) и цезия-137 ($0,00115-0,0095$ Бк/м³). А начиная с 22 марта йод-131 начал регистрироваться в Украине. Так, результаты измерений концентрации йода-131 в воздухе г. Киев, выполненных Украинским научно-исследовательским гидрометеорологическим институтом в период с 22 марта по 5 апреля 2011 г., указывают на резкий скачок до уровня $5,9 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ (29 марта), а затем падение до $2,3 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ (5 апреля) (рис. 1.21).

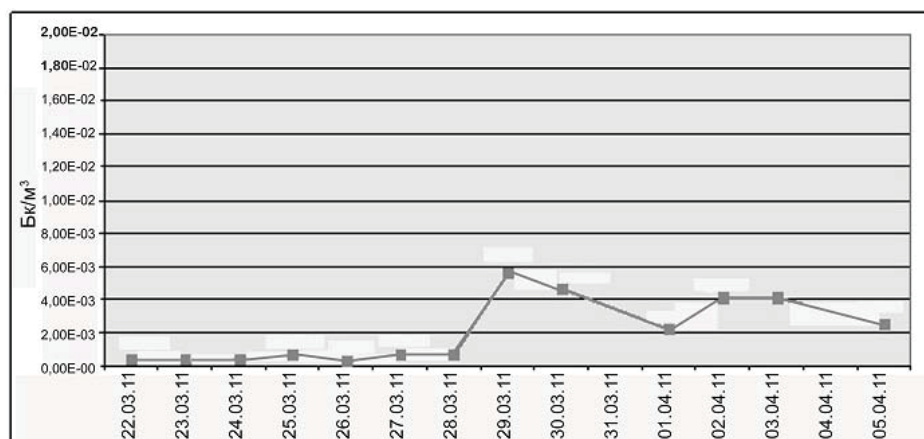


Рис. 1.21. Концентрация йода-131 (Бк/м³) в воздухе г. Киев в период с 22 марта по 5 апреля 2011 г.

В соответствии с Нормами радиационной безопасности Украины допустимый уровень йода-131 в атмосферном воздухе для населения $4,0$ Бк/м³.

Дополнительное содержание изотопов цезия-137 в воздухе от аварийной АЭС Фукусима-1 в Украине ус-

тановить невозможно из-за наличия на значительной территории страны цезия-137 чернобыльского происхождения.

Аналогичные измерения проводились на постах АСКРО, установленных в 30-км зонах наблюдения АЭС Украины, с 28 марта по 15 апреля,

когда концентрация изотопа йода-131 в атмосферном воздухе снизилась до уровня чувствительности измерительных приборов. Наибольшее значение концентрации йода-131, обнаруженное в районах расположения АЭС, находилось на уровне $5,4 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ (1 апреля 2011 г., Южно-Украинская АЭС).

Первоначально авария на АЭС Фукусима-1 была переквалифицирована с 4-го уровня международной шкалы INES на 5-й уровень – «авария с широкими последствиями, связанными с тяжелым повреждением активной зоны». Однако, по мнению экспертов МАГАТЭ и ряда регулирующих органов других стран, аварию на АЭС Фукусима-1 следовало квалифицировать не ниже 6-го уровня – «тяжелая авария, значительный выброс радиоактивных продуктов за пределы площадки АЭС, которые требуют принятия соответствующих контрмер». Окончательно аварии на блоках № 1-3 были объединены в общее событие, которое квалифицировано аналогично Чернобыльской АЭС 7-м уровнем – «большая авария».

Выводы

Процессы, происходившие в течение активной стадии аварии на ЧАЭС, полностью не изучены. Требуют дальнейшего исследования процессы воздействия на окружающую среду загрязненных территорий, миграции и трансформации радиоактивных веществ и т.п.

До настоящего времени остается актуальной проблема согласования результатов оценок суммарной величины выброса и динамики изменения

интенсивности основных радионуклидов во времени и пространстве в начальный период аварии. Неопределенность результатов оценок связана с длительностью и не монотонностью выброса радиоактивных веществ из аварийного реактора, сложностью и неоднозначностью нуклидного и физико-химического состава выброса, трансформации и миграции выброшенных веществ, а также другими факторами.

Большие расхождения в оценке динамики выброса ¹³¹I и ¹³⁷Cs можно объяснить пространственными особенностями формирования полей радиоактивного загрязнения в отдельные периоды начальной стадии аварии, неполной и недостаточной достоверностью входной метеоинформации. Поэтому в дальнейшем необходим пересмотр официальных данных по составу, величине и динамике выброса радионуклидов в результате аварии на ЧАЭС.

Авария на АЭС Фукусима-1 по своим радиационным последствиям сравнима с чернобыльской. Общий объем радиационного выброса с АЭС Фукусима-1 по предварительным оценкам составляет около 15 % от выброса чернобыльской аварии за тот же промежуток времени. В результате аварии на АЭС Фукусима-1 уровни радиоактивного загрязнения окружающей среды, начиная с 16 марта, значительно превышали природные (фоновые) и предельно допустимые значения для населения не только на границе площадки АЭС, но и за пределами 30-км зоны.

Оперативные организационные и профилактические меры после аварии на АЭС Фукусима-1 меры позволили уменьшить дозу облучения на-

селения в несколько раз и тем самым снизить вероятность возникновения онкологических заболеваний в будущем. Сравнивая с аналогичными данными для ЧАЭС, можно предположить, что в результате принятых японскими властями мер, дозовые нагрузки на население были снижены не менее чем в 4-5 раз.

Несвоевременная йодная профилактика, запрет на потребление свежего молока и молочных продуктов, некоторых овощей, а также замалчивание аварии на протяжении наибо-

лее решающих для осуществления защитных мер дней привели к тому, что при чернобыльской аварии на загрязненных территориях в щитовидной железе детей и взрослых были сформированы биологически значимые дозы, приведшие к резкому увеличению частоты раковых заболеваний. В этом плане печальный опыт чернобыльской аварии по применению защитных мер для населения в Японии в значительной мере был учтен.

Литература

1. Khan S.A. The Chernobyl Source Term: A Critical Review / Nuclear Safety, 1990. – Vol. 31, № 31. – P. 353–374.
2. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия (информация подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ). – Вена, 25–28 августа 1986 г. – ГК ИЭА СССР, 1986. – 152 с.
3. Gudixsen P.H. The current status of ARAC and its application to the Chernobyl event / P.H. Gudixsen, T.J. Sullivan, T.F. Harvey // LLNL, UCRL-955, 1986.
4. The Chernobyl accident and its consequences and NOR 4200 UK Atomic Energy Authority, London, March, 1987.
5. Albergel A. The Chernobyl accident: Modelling of dispersion over Europe of the radioactive plume and comparison with air activity measurements / A. Albergel, D. Martin, B. Strauss and J.-M. Gros // Atmospheric Environment. – 1988. – Vol. 22. – P. 2431–2444.
6. Итоговый доклад МКГЯБ о совещании по рассмотрению причин и последствий аварий в Чернобыле. – Вена, МАГАТЭ. – Сер. "Безопасность", 1986. – № 75-INSAG-1. – 98 с.
7. Лебедев И.А. Содержание продуктов деления и плутония в почвах европейской части СССР после аварии на ЧАЭС / И.А. Лебедев, Б.Ф. Мясоедов, Ф.И. Павлоцкая и др. // Геохимия. – 1993. – № 7.
8. Кашпоров В.А. Загрязнение территории радионуклидной топливной компонентой Чернобыльских радиоактивных выпадений / В.А. Кашпоров, С.М. Лундин, С.И. Зварич // Радиохимия. – 2003. – Т. 45, № 2. – С. 173–183.
9. Рузан Э.А. Оценка выброса топлива при аварии на Чернобыльской АЭС по концентрации ^{90}Sr в почве 30-ти километровой зоны / Э.А. Рузан, О.И. Ячник // Атомная энергия. – 2009. – Т. 107, Вып. 1. – С. 57–60.
10. Абагян А.А. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленной для МАГАТЭ / А.А. Абагян, В.Г. Асмолов, А.К. Гуськова и др. // Атомная энергия. – 1986. – Т. 61, Вып. 1. – С. 301–320.
11. Барьяхтар В.Г. Чернобыльская катастрофа / В.Г. Барьяхтар. – К.: Наукова думка. – 1995. – 568 с.
12. Израэль Ю.А. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на Чернобыльской атомной электростанции / Ю.А. Израэль, В.Н. Петров, Д.А. Северов // Метеорология и гидрология. – 1987. – № 7. – С. 5–12.

13. Боровой А.А. Выброс радионуклидов из разрушенного блока Чернобыльской АЭС / А.А. Боровой, А.Ю. Гагаринский // Атомная энергия. – 2001. – Т. 90, Вып. 2. – С. 137–145.
14. United Nations Sources and Effects of Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2000 Report to General Assembly. – New York: United Nations. – 2000. – Vol. 11. – P. 451–566.
15. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: двадцатилетний опыт / Доклад экспертной группы "Экология" Чернобыльского форума. [Серия докладов по радиологическим оценкам]. – Вена, МАГАТЭ, 2008. – 180 с.
16. Носовский А.В. Авария на Чернобыльской АЭС: опыт преодоления, извлеченные уроки / А.В. Носовский, В.Н. Васильченко, А.А. Ключников, Б.С. Пристер. – К.: Техника, 2006. – 264 с.
17. Яровой С.С. Анализ причин и последствий аварии на АЭС Фукусима как фактор предотвращения тяжелых аварий в корпусных реакторах/ Скалозубов В.И., Ключников А.А., Ващенко В.Н. – Киев, 2012. - 279с.