

УДК 621.039.58

ИТОГИ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА РАДИОАКТИВНОСТЬЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОИЯИ

*С. И. Аленицкая, О. Е. Булах, В. Н. Бучнев, М. В. Зуева,
А. Н. Каргин, Б. В. Флорко*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В работе представлены результаты радиационного контроля в районе расположения ОИЯИ за 1986–2002 гг., основанные на измерениях суммарной бета- и гамма-радиоактивности травы и почвы, концентрации некоторых радионуклидов в траве и почве, удельной альфа- и бета-радиоактивности воды окружающих г. Дубну водоемов, суммарной альфа- и бета-радиоактивности снега, фона фотонного излучения и заряженных частиц на территории г. Дубны.

The purpose of the present work is to present the objective information on the level of radioactivity in the environment on the site of the Joint Institute for Nuclear Research (JINR), based on the results of long-term measurements carried out at a specialized laboratory of radiation control at JINR. In the work, results of measurements for 1986–2002 are presented: the total beta- and gamma-radioactivity of the grass and soil, the concentration of some radionuclides in the grass and soil, specific alpha- and beta-radioactivities of water reservoirs near Dubna, total alpha- and beta-radioactivities of snow, the photon and the charged particles radiation background on the territory of Dubna.

ВВЕДЕНИЕ

После аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) проблема обеспечения радиационной безопасности населения привлекает все большее внимание. Отсутствие какой-либо достоверной информации об уровне радиоактивности объектов окружающей человека среды порождает различного рода слухи и является основной причиной радиофобии.

Цель настоящей работы — представить объективную информацию об уровнях радиоактивности в окружающей среде в районе расположения Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ), основанную на результатах многолетних измерений, проводимых специализированной лабораторией радиационного контроля ОИЯИ. В работе изложены результаты измерений за 1986–2002 гг.:

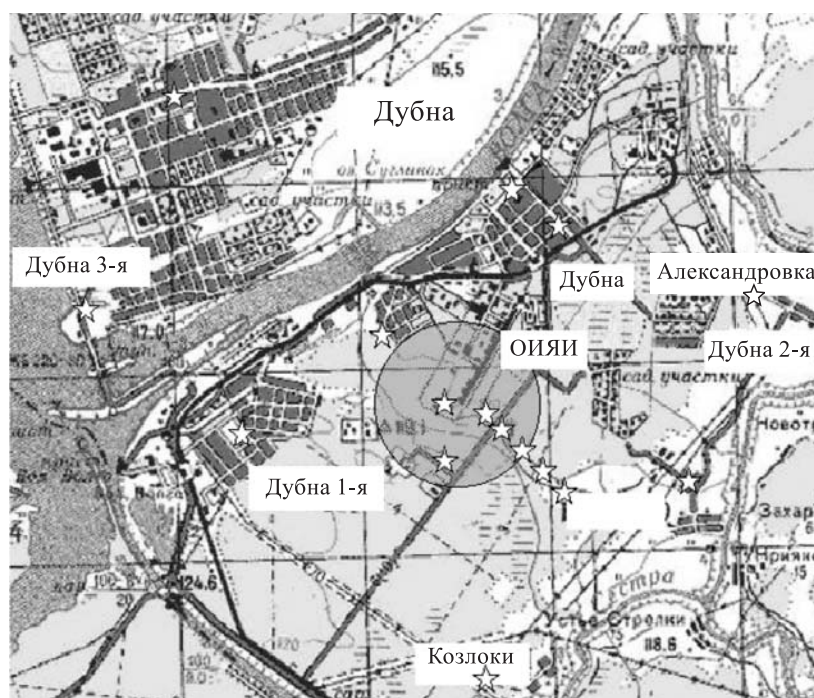
- суммарной бета- и гамма-радиоактивности травы и почвы;
- концентрации некоторых радионуклидов в траве и почве;
- удельной альфа- и бета-радиоактивности воды окружающих г. Дубну водоемов;
- суммарной альфа- и бета-радиоактивности снега;
- фона фотонного излучения и заряженных частиц на территории г. Дубны.

Результаты более ранних измерений представлены в работе [1].

1. СУММАРНАЯ БЕТА- И ГАММА-РАДИОАКТИВНОСТЬ ТРАВЫ И ПОЧВЫ

Для определения суммарной радиоактивности и концентрации некоторых радиоактивных нуклидов проводился отбор проб травы и верхнего слоя почвы толщиной 5 см в шести контрольных пунктах: 1 — поляна в лесу (400 м к юго-востоку от выбросной трубы научно-экспериментального отдела ядерной спектроскопии и радиохимии (НЭОЯСиРХ) Лаборатории ядерных проблем); 2 — поле у д. Юркино (1000 м к юго-востоку от выбросной трубы реактора ИБР-2 Лаборатории нейтронной физики); 3 — дамба Иваньковского водохранилища; 4 — поле у д. Ушаковки; 5 — поле в районе г. Талдома; 6 — парк на берегу р. Волги.

Некоторые места отбора проб изображены на рисунке.



План расположения некоторых контрольных точек отбора проб травы и почвы. ☆ — места отбора проб и измерения гамма-фона. Окружностью с серым фоном обозначена санитарно-защитная зона

Измерения уровней суммарной бета- и гамма-радиоактивности проб травы и почвы проводились на радиометрической установке. Градуировка установки проводилась калиевым источником, приготовленным по методике, описанной в работе [2]. Результаты измерений представлены в табл. 1 и 2. Погрешности результатов измерений не превышают 30 % для травы и 40 % для почвы. Как видно из таблиц, усредненная по всем пунктам величина суммарной бета- и гамма-радиоактивности травы и почвы остается постоянной в пределах погрешностей измерений.

Таблица 1. Уровни суммарной бета- и гамма-радиоактивности травы, кБк/кг сухой травы

Год	Контрольный пункт						Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	
1986	2,40	2,22	2,47	2,50	2,79	3,20	2,60
1987	2,52	1,94	2,20	2,46	2,17	1,39	2,12
1988	2,19	2,01	2,68	2,48	2,65	1,76	2,30
1989	1,36	1,99	3,20	2,53	2,53	1,89	2,25
1990	2,16	2,07	2,52	2,41	2,67	2,53	2,40
1991	2,37	2,05	2,44	2,69	2,48	1,86	2,32
1992	2,69	2,09	2,99	2,50	2,63	2,01	2,49
1993	2,13	2,39	2,41	2,50	2,91	2,56	2,49
1994	3,95	2,52	2,39	3,07	3,03	2,38	2,89
1995	3,23	2,30	3,57	3,09	2,17	2,58	2,82
1996	5,70	2,22	3,29	2,37	4,29	4,70	3,37
1997	4,39	2,56	3,88	2,56	1,85	3,15	3,06
1998	1,58	1,59	1,72	1,48	2,08	1,51	1,66
1999	2,14	1,94	2,07	1,69	1,69	1,68	1,86
2000	2,40	1,51	2,63	1,92	1,56	1,61	1,94
2001	2,52	1,43	1,71	2,83	2,16	2,09	2,12
2002	2,79	1,44	3,34	2,09	1,82	1,78	2,21

Таблица 2. Уровни суммарной бета- и гамма-радиоактивности почвы, кБк/кг

Год	Контрольный пункт						Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	
1986	666	1110	370	629	444	578	623
1987	629	1073	629	740	444	814	721
1988	703	925	444	777	407	592	641
1989	481	851	444	555	592	592	586
1990	629	1147	444	629	370	444	610
1991	629	1147	407	629	407	518	623
1992	592	1036	407	629	518	592	629
1993	592	1036	444	592	370	518	592
1994	629	1036	629	629	592	481	666
1995	666	888	888	629	592	481	691
1996	592	1036	444	629	481	518	629
1997	814	703	296	555	555	370	555
1998	610	698	469	483	538	466	514
1999	474	760	357	527	501	455	514
2000	566	787	355	478	504	376	511
2001	501	601	342	414	507	399	461
2002	447	625	253	472	478	352	437

2. КОНЦЕНТРАЦИЯ НЕКОТОРЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ТРАВЕ И ПОЧВЕ

Концентрации радионуклидов в траве и почве определялись спектрометрическим методом [3]. Измерения спектров проводились на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре с последующей обработкой и идентификацией изотопного состава [4, 5]. Градуировка спектрометра проводилась специально изготовленными образцовыми источниками на основе европия-152, внедренного в соответствующий имитатор: для почвы — песок в сосуде Маринелли объемом 0,5 л; для травы — опилки в сосуде Маринелли объемом 3,3 л.

Стронций-90 из почвы и травы выделялся радиохимическим методом [2, 3], а после его концентрация измерялась с помощью радиометра УМФ-1500Д [6].

Усредненные по всем контрольным пунктам результаты измерений концентрации некоторых радионуклидов представлены в табл. 3 и 4. Анализ результатов измерений показывает, что в пробах почвы и травы кроме естественных радионуклидов (калия-40 и др.) присутствуют стронций-90 и цезий-137 — радионуклиды искусственного происхождения. Наличие в траве и почве долгоживущих продуктов деления стронция-90 и цезия-137 обусловлено глобальными выпадениями после испытаний атомного оружия, а с 1986 г. и выпадениями, вызванными аварией на ЧАЭС.

Таблица 3. Концентрация некоторых радионуклидов в траве, Бк/кг сухой травы

Год	Радионуклид						
	Cs-137, $T_{1/2} =$ 30 лет	Sr-90, $T_{1/2} =$ 28,6 года	K-40, $T_{1/2} =$ $1,28 \cdot 10^9$ лет	Be-7, $T_{1/2} =$ 53,3 сут	Nb-95, $T_{1/2} =$ 35,1 сут	Ru-103, $T_{1/2} =$ 39,3 сут	Cs-134, $T_{1/2} =$ 2,06 года
1986	12,2	7,8	Не измер.	179,4	6,7	1,1	2,6
1987	9,2	5,9	Не измер.	151,3	—	—	—
1988	8,5	9,2	Не измер.	344,8	—	—	—
1989	< 3,7	8,5	Не измер.	284,9	—	—	—
1990	< 3,7	6,7	344,9	206,5	—	—	—
1991	< 5,5	7,0	396,4	169,5	—	—	—
1992	< 4,4	7,0	294,1	120,2	—	—	—
1993	< 4,8	7,0	487,2	260,8	—	—	—
1994	< 5,9	6,3	151,3	355,2	—	—	—
1995	< 6,3	7,0	352,6	310,4	—	—	—
1996	< 4,9	6,5	364,6	236,1	—	—	—
1997	< 0,8	6,7	280,9	236,7	—	—	—
1998	< 2,5	6,5	346,5	324,3	—	—	—
1999	< 4,2	6,8	302,7	189,7	—	—	—
2000	< 1,9	6,7	374,9	198,0	—	—	—
2001	< 1,7	7,0	336,5	223,9	—	—	—
2002	< 1,2	7,2	299,7	174,7	—	—	—

Гигиенических нормативов, ограничивающих активность техногенных радионуклидов в почвах, нет.

Таблица 4. Концентрации некоторых радионуклидов в почве, Бк/кг

Год	Радионуклид						
	Cs-137, $T_{1/2} =$ 30 лет	Sr-90, $T_{1/2} =$ 28,6 года	K-40, $T_{1/2} =$ $1,28 \cdot 10^9$ лет	Zr-95, $T_{1/2} =$ 64 сут	Nb-95, $T_{1/2} =$ 35,1 сут	Ru-103, $T_{1/2} =$ 39,3 сут	Cs-134, $T_{1/2} =$ 2,06 года
1986	17,8	8,5	Не измер.	0,7	2,2	2,6	2,6
1987	20,4	9,3	Не измер.	—	—	—	2,6
1988	29,2	9,3	Не измер.	—	—	—	2,2
1989	21,8	8,5	Не измер.	—	—	—	0,7
1990	19,6	7,8	449,0	—	—	—	—
1991	20,4	7,4	473,6	—	—	—	—
1992	21,5	7,8	347,2	—	—	—	—
1993	15,2	7,8	435,6	—	—	—	—
1994	18,1	9,3	424,3	—	—	—	—
1995	22,9	7,8	456,8	—	—	—	—
1996	14,4	8,5	391,2	—	—	—	—
1997	16,3	9,6	391,1	—	—	—	—
1998	11,3	8,4	347,7	—	—	—	—
1999	15,8	8,8	420,5	—	—	—	—
2000	14,1	8,4	420,6	—	—	—	—
2001	15,0	8,6	448,5	—	—	—	—
2002	12,3	9,1	418,2	—	—	—	—

Максимальное значение концентрации цезия-137 в почве после аварии на ЧАЭС составляло 29,2 Бк/кг, после (в связи с распадом радионуклида) происходило снижение концентрации цезия. Эти данные в пределах погрешности согласуются со средними значениями концентрации цезия-137 в Московской обл. — 10–15 Бк/кг [10]. Средние значения концентрации стронция-90 в Московской обл. — 5–20 Бк/кг [11].

В пробах травы обнаружен также бериллий-7, образованный космическим излучением [7]. В 1986 г. в пробах травы и почвы появились свежие продукты деления: ниобий-95 (35,1 сут), цирконий-95 (64 сут), рутений-103 (39,3 сут) и цезий-134 (2,06 года) (в скобках указаны периоды полураспада). Их появление вызвано аварией на ЧАЭС, а отсутствие этих радионуклидов в более поздних пробах связано с их естественным радиоактивным распадом.

Из представленных результатов видно, что содержание радионуклидов в почве и траве в пределах погрешностей измерений, не превышающих 50 %, много лет остается постоянным, кроме аномалии, связанной с аварией на ЧАЭС.

3. УДЕЛЬНАЯ АЛЬФА- И БЕТА-РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОДЫ ОКРУЖАЮЩИХ ВОДОЕМОВ

Для определения радиоактивности воды производился отбор проб объемом 3 л из окружающих г. Дубну водоемов. Подготовка проб проводилась по методике, описанной

в работе [8], а измерения — на радиометре УМФ-1500Д. В табл.5 представлены результаты измерений бета-радиоактивности проб воды из открытых водоемов, а также, для сравнения, воды, взятой из водопровода и на сбросе с очистных сооружений (ОС) городской канализационной системы. Альфа-радиоактивность всех проб воды не превышает 0,07 Бк/кг. Спектрометрический анализ проб воды показал, что ее радиоактивность обусловлена естественным радионуклидом калием-40.

Таблица 5. Удельная бета-радиоактивность воды, Бк/кг

Год	Место отбора проб					
	р. Волга	р. Черная	р. Дубна	Иваньковское водохранилище	Водо-провод	Сброс с ОС
1986	0,15	0,27	0,13	0,10	0,12	0,24
1987	0,08	0,12	0,10	0,09	0,07	—
1988	0,08	0,18	0,11	0,09	0,08	—
1989	0,11	0,41	0,12	0,14	0,07	0,25
1990	0,09	0,20	0,08	0,07	0,07	0,20
1991	0,09	0,16	0,13	0,10	0,05	0,17
1992	0,14	0,15	0,13	0,10	0,07	0,17
1993	0,12	0,18	0,13	0,12	0,06	0,18
1994	0,13	0,16	0,12	0,08	0,04	0,13
1995	0,16	0,20	0,13	0,09	0,06	0,25
1996	0,05	0,12	0,07	0,06	0,05	0,13
1997	0,07	0,10	0,04	0,04	0,07	0,10
1998	0,09	0,26	0,13	0,10	0,04	0,24
1999	0,11	0,39	0,16	0,11	0,20	0,28
2000	0,11	0,23	0,22	0,15	0,13	0,35
2001	0,13	0,37	0,36	0,13	0,18	0,27
2002	0,15	0,31	0,30	0,15	0,13	0,29

Следует отметить, что измеренные величины меньше величин предварительной оценки допустимости использования воды для питьевых целей, регламентированных нормами радиационной безопасности НРБ-99 [9]: $A_{\alpha} \leq 0,1$ Бк/кг и $A_{\beta} \leq 1,0$ Бк/кг.

В 1986 г. в связи с аварией на ЧАЭС проводился гамма-спектрометрический анализ проб воды из р. Волги. В пробах, взятых 9 мая, 16 июня и позже, были обнаружены только естественные радионуклиды. В пробе, взятой 14 мая, кроме естественных радионуклидов были найдены продукты деления — иод-131 с концентрацией 34 пКи/л и рутений-103 с концентрацией, не превышающей 5 пКи/л. По действующим в то время нормам радиационной безопасности НРБ-76/87, допустимая концентрация данных изотопов для питьевой воды составляла 1 и 80 нКи/л соответственно.

К вышесказанному следует добавить, что ОИЯИ не производит сброс жидких радиоактивных отходов в открытые водоемы, а отправляет их для захоронения на специализированное предприятие.

4. СУММАРНАЯ АЛЬФА- И БЕТА-РАДИОАКТИВНОСТЬ СНЕГА

Контроль радиоактивности снега проводился в четырех контрольных точках. Отбор проб делали один раз в году в конце зимы до начала таяния снега. Альфа-радиоактивность снега не превышает чувствительности измерительной установки и меньше 0,6 Бк/м². Результаты измерений поверхностной бета-радиоактивности снега представлены в табл. 6.

Таблица 6. Бета-радиоактивность снега, Бк/кг

Год	Место отбора проб				Среднее значение
	ул. Александровка	Парк на берегу р. Волги	Газораздат. станция	НЭОЯСиРХ	
1986	17,4	4,4	5,6	4,1	7,8
1987	11,5	4,1	4,4	4,1	5,9
1988	4,1	4,1	4,1	6,3	4,4
1989	4,1	4,8	9,6	7,8	6,3
1990	4,1	4,1	4,4	6,3	4,8
1991	4,4	4,1	4,4	6,3	4,8
1992	3,7	4,1	4,1	4,1	4,1
1993	4,1	4,4	4,4	4,4	4,4
1994	4,1	4,1	4,8	4,4	4,4
1995	4,1	4,4	4,4	4,4	4,4
1996	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
1997	2,6	2,6	3,0	2,7	2,7
1998	1,8	4,4	3,8	2,9	3,2
1999	4,7	3,7	3,8	2,7	3,7
2000	6,5	4,1	4,4	1,6	4,2
2001	2,6	4,4	3,2	1,6	3,2
2002	1,7	≤ 0,6	2,0	≤ 0,6	≤ 1,2

5. ФОН ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Контроль за радиационной обстановкой в окружающей среде осуществлялся непрерывно путем измерения накопленной дозы фотонного излучения и заряженных частиц методом термoluminesцентной дозиметрии. Измерения проводились в 17 контрольных точках, расположенных в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения ОИЯИ. Усредненные по всем контрольным точкам результаты измерений представлены в табл. 7. Как видно из таблицы, доза фотонного излучения и заряженных частиц в пределах погрешности измерений многие годы остается постоянной.

Для контроля доз излучения от выбросов благородных газов из вентиляционной трубы реактора ИБР-2 в трубе установили термoluminesцентный дозиметр. Его показания снимали после каждого сеанса на реакторе. За период 1996–2003 гг. годовая доза излучения внутри трубы составляла 4–15 мЗв/год. После выброса из трубы с высоты 80 м и разбавления в атмосферном воздухе эта доза уменьшалась на границе санитарно-защитной

зоны как минимум в 10^4 раза и у поверхности земли составляла величину меньше годовой фоновой в 10^3 раз.

Таблица 7. Результаты контроля фотонного излучения и заряженных частиц в окружающей среде

Год	Доза за год, мЗв		
	Минимальная	Максимальная	Средняя
1986	0,58	0,75	0,69
1987	0,56	0,85	0,63
1988	0,50	0,85	0,64
1989	0,64	0,91	0,70
1990	0,53	0,83	0,73
1991	0,60	0,89	0,69
1992	0,56	0,89	0,60
1993	0,51	0,66	0,58
1994	0,56	0,73	0,64
1995	0,58	0,82	0,71
1996	0,52	1,06	0,78
1997	0,73	1,02	0,93
1998	0,68	1,57	0,97
1999	0,73	1,16	0,89
2000	0,79	1,16	0,94
2001	0,70	1,22	0,79
2002	0,71	1,04	0,83

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов измерений, приведенных в данной работе, можно сделать следующий вывод: радиоактивность окружающей среды в районе расположения ОИЯИ в течение многих лет остается постоянной и обусловлена естественной радиоактивностью и глобальными выпадениями. На их фоне вклад от работы ядерно-физических установок и радиохимических лабораторий ОИЯИ не обнаруживается.

По нашим оценкам, доза внешнего облучения населения г. Дубны в 1986 г. от чернобыльского «следа» составила $\sim 4\%$ от дозы естественного фона. В последующие годы она была значительно меньше из-за естественного распада короткоживущих радионуклидов.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Е. В. Попову и Т. А. Вакатову за оказанную помощь в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аленицкая С. И. и др. ОИЯИ, 16-10539. Дубна, 1977.
2. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды / Под общ. ред. А. Н. Мареев, А. С. Зыковой. М.: Атомиздат, 1980.

3. *Ровинский Ф. Я., Иохельсон С. Б., Юшкан Е. И.* Методы анализа загрязнения окружающей среды. Токсические металлы и радионуклиды. М.: Атомиздат, 1978.
4. *Erdman G., Soyka W.* Die-y-Linien Radionuklide. Jul-1003-AC. 1973.
5. *Дорошенко Г. Г., Шлягин К. Н.* Справочник по идентификации гамма-излучающих нуклидов. М.: Атомиздат, 1980.
6. Методика измерения суммарной альфа- и бета-активности водных проб с помощью радиометра УМФ-2000. М.: ЦМИИ НПО ВНИИФТРИ, 1997.
7. *Эйзенбад М.* Радиоактивность внешней среды. М.: Атомиздат, 1967.
8. Подготовка проб природных вод для измерения суммарной альфа- и бета-активности. Метод. рекомендации. М.: ВИМС, 1997.
9. Нормы радиационной безопасности НРБ-99. СП 2.6.1.758-99 / М-во здравоохранения РФ. М., 1999.
10. *Зыкова А. С. и др.* Радиационная обстановка в Москве и Московской области, обусловленная выпадениями за период 1989–1993 г. // Гигиена и санитария. 1995. № 2. С. 25–27.
11. *Бахур А. Е. и др.* Стронций-90 в почвах: радиохимические и инструментальные методы определения // АНРИ. 2003. № 1(32). С. 20–28.

Получено 26 января 2004 г.