

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ ПО ТЕРРИТОРИИ 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ДВЕНАДЦАТИ ОБЛАСТЕЙ РОССИИ, УКРАИНЫ И БЕЛОРУССИИ В АВГУСТЕ 1986 ГОДА

В.К. Олейник*, И.И. Крышев**

**Ленинградская АЭС, г. Сосновый Бор*

***ГУ НПО «Тайфун», г. Обнинск*



Представлены результаты радиоэкологической экспедиции по территории 30-километровой зоны ЧАЭС и 12 областей России, Украины и Белоруссии в августе 1986 г. Приведены экспериментальные данные о содержании искусственных радионуклидов (цезия-137, цезия-134, рутения-103, рутения-106, циркония-95, церия-144, церия-141) и природного радиоизотопа калия-40 в компонентах водных и наземных экосистем: водорослях, моллюсках, рыбе, воде, донных отложениях, мхах, хвое сосны, травянистой растительности и почве. На основе полученных экспериментальных данных выполнены оценки мощности дозы облучения компонент природной биоты.

ВВЕДЕНИЕ

Уже в первые месяцы после Чернобыльской аварии был выполнен значительный объем работ по анализу содержания радионуклидов в компонентах окружающей среды и агросферы, ставший экспериментальной базой для последующей оценки и прогноза радиационных последствий аварии для населения [1-5]. В существенно меньшей мере в первый период после аварии проводились исследования уровней радиоактивного загрязнения и дозы облучения природной биоты [5-7]. Предметом настоящей статьи является анализ некоторых результатов специальной радиоэкологической экспедиции в августе 1986 г. по территории 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС и двенадцати областей России, Украины и Белоруссии, с целью анализа радиационного воздействия аварии на компоненты природной биоты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Специальная радиоэкологическая экспедиция была организована и осуществлена спустя 3 мес. после Чернобыльской аварии специалистами лаборатории охраны окружающей среды и экологических исследований Научно-исследовательского тех-

© В.К. Олейник, И.И. Крышев, 2004

нологического института (г. Сосновый Бор Ленинградской обл.), при непосредственном участии авторов данной статьи. Эта лаборатория к тому времени являлась одним из ведущих центров страны в области регионального экологического мониторинга в районе расположения ядерных объектов [8], а ее сотрудники имели большой опыт радиоэкологических исследований водных и наземных экосистем. В качестве транспортного средства и передвижной радиометрической лаборатории использовался специальный автомобиль УАЗ-452, оснащенный переносными радиометрическими приборами, средствами отбора проб объектов природной среды, упаковками для их транспортировки и хранения. Маршрут экспедиции был выбран с возможностью обследования как можно больших территорий и охватил, кроме Ленинградской, Псковскую, Новгородскую, Калининскую (Тверскую), Московскую, Калужскую, Брянскую области России, Черниговскую и Киевскую области Украины, Гомельскую, Могилевскую, Витебскую области Белоруссии.

По всему маршруту следования велись непрерывные замеры мощности дозы гамма-излучения, характеризующей остаточную активность радиоактивных веществ, выпавших на поверхность от прохождения образовавшегося в результате аварии облака газо-аэрозольных выбросов. Измеренные величины мощности дозы не отличались от фоновых значений 8-12 мкР/ч во всех областях России, за исключением Брянской, на востоке которой отмечались значения 45-55 мкР/ч, а на западе у границы с Белоруссией 1200-1400 мкР/ч. На севере Украины и востоке Белоруссии мощность дозы гамма-излучения от поверхности земли отличалась значительной неоднородностью, что обусловлено характером распространения выбросов, связанным с перестройкой атмосферных процессов в период аварийного выброса радионуклидов [1-2]. В результате сформировалось несколько загрязненных территорий, на части которых экспедицией были обследованы элементы наземных и водных экосистем (севернее Киева, восток Гомельской области, запад Брянской).

Критериями для отбора проб являлись минимальные значения мощности дозы для использования в качестве фоновых (Псковская, Новгородская и Калининская области) и максимальные ее величины вдоль автомобильных трасс, а также крупные водные объекты с водосбором из загрязненных районов (реки Припять, Десна и Днепр в нескольких местах пересечения маршрута). Впоследствии, однако, спектрометрический анализ показал, что и в фоновых пробах в минимальных следовых количествах присутствовали радионуклиды чернобыльского происхождения. Методика отбора проб базировалась на типовых требованиях по радиометрическому обследованию объектов природной среды [9], и накопленном опыте лаборатории в области радиоэкологических исследований (конструкции пробоотборников с фиксированной площадью и заданной толщиной отбираемого слоя, оборудование по переработке и подготовке проб к измерениям, использование биологических индикаторов для радиоэкологических оценок). Это обеспечивало унификацию и единство способов и средств исследования от пробоотбора до измерений.

На основе полученных экспериментальных данных о концентрациях радионуклидов производился расчет доз облучения компонент природной биоты при помощи методов и моделей, изложенных в работах [10-12].

В качестве радиоэкологических индикаторов загрязнения лесных экосистем были выбраны хвоя сосны (*Pinus sylvestris*) и мох (*Pleurozium schreberi*). Хвойные деревья являются одними из наиболее радиочувствительных элементов природной среды. Известно, что первые признаки их лучевого угнетения обнаруживают при дозе 2-5 Гр [5]. Кроме того, крона хвойных деревьев характеризуется повышенной способностью поглощения радиоактивных частиц и более медленным самоочищением от радионуклидов по сравнению с лиственными деревьями. В качестве индикаторов ра-

диозкологического состояния водной среды были выбраны водные растения, моллюски, рыбы и донные отложения.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты измерений содержания радионуклидов в компонентах водных и наземных экосистем аварийного чернобыльского следа в августе 1986 г. представлены в табл. 1 и 2.

В водных экосистемах наиболее высокие удельные активности радионуклидов наблюдались в пруде-охладителе ЧАЭС и в реке Припять (30-километровой зона

Таблица 1

Удельная активность радионуклидов в компонентах водных экосистем в августе 1986 г.

Объект/Водоем	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹⁰³ Ru	¹⁰⁶ Ru	⁹⁵ Zr	¹⁴⁴ Ce	¹⁴¹ Ce	⁴⁰ K
<i>Водоросли (кБк/кг)</i>								
Пруд-охладитель (30-километровой зона ЧАЭС)	159	59	96	81	244	296	57	
Припять (30-километровой зона ЧАЭС)	7,4	3,8	18	18	60	26	5,2	
Киевское водохранилище (Глебовка)	0,10	0,04	0,034		0,16	0,11	0,031	
Днепр (Орша)	0,034	0,02	0,012					0,77
Днепр (Гомель)	0,16	0,065	0,064					0,23
Десна (Чернигов)	0,026	0,02	0,026					0,32
<i>Моллюски (кБк/кг)</i>								
Припять (30-километровой зона ЧАЭС)	1,4	0,59	3,6	4,1	10,0	10,4	1,9	
Киевское водохранилище (Глебовка)	0,036	0,012	0,025		0,025			0,38
Днепр (Гомель)	0,098	0,053	0,063		0,13	0,11	0,018	
Десна (Чернигов)	0,021							0,14
<i>Рыба (кБк/кг)</i>								
Пруд-охладитель (30-километровой зона ЧАЭС)	444	220	37	148				
Припять (30-километровой зона ЧАЭС)	5,7	2,7	0,26		0,96	1,3	0,21	
<i>Вода (Бк/л)</i>								
Пруд-охладитель (30-километровой зона ЧАЭС)	340	130	18	30	42	43	15	
Припять (30-километровой зона ЧАЭС)	290	103	21		8,1			
Днепр (Гомель)	2,6	1,8						
Днепр (Орша)	0,44	0,30						
Волхов (Новгород)	0,44	0,17						
<i>Донные отложения (кБк/кг)</i>								
Пруд-охладитель (30-километровой зона ЧАЭС)	150	60	20	25	67	72	19	
Припять (30-километровой зона ЧАЭС)	9,6	4,4	33	3,0	80	77	7,4	
Днепр (Гомельская обл.)	0,10	0,043	0,11	0,11	0,48	0,27	0,16	0,48
Днепр (Орша)	0,061	0,037						0,17
Десна (Чернигов)	0,078	0,048	0,029		0,028			0,60

Таблица 2

Удельная активность радионуклидов в компонентах наземных экосистем в августе 1986 г., кБк/кг

Объект/Область (место)	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹⁰³ Ru	¹⁰⁶ Ru	⁹⁵ Zr	¹⁴⁴ Ce	¹⁴¹ Ce	⁴⁰ K
<i>Мох</i>								
Киевская (Дымер)	29,8	15,5	57,8	81,5	102,4	168,5	30,9	0,75
Гомельская	42,7	21,7	22,4	25,9	45,8	78,4	8,0	
Могилевская	3,6	1,9	2,7		4,0	6,9	1,1	
Брянская (Клинцы)	63,5	33,5	12,5	14,8	2,5	4,3	1,0	1,6
Калининская	0,84	0,38	0,14		0,048	0,05	0,057	
Новгородская	4,1	1,9	0,24		0,16	0,17	0,07	
Псковская (Насва)	6,5	2,5	2,7					
<i>Хвоя</i>								
Киевская (Дымер)	6,0	2,7	6,9	15,6	6,8	13,6		0,19
Гомельская	4,6	2,1	2,2	1,3	1,1	1,4	2,5	
Могилевская	0,32	0,16	0,16		0,085	0,093	0,074	
Брянская (Клинцы)	6,6	2,0	0,84	0,90	0,27	0,25	0,03	1,1
Калининская	0,18	0,081			0,007		0,041	0,11
Новгородская	1,0	0,56	0,004	0,078	0,033			1,0
Псковская (Насва)	0,17	0,081	0,015	0,015				2,2
<i>Растительность</i>								
Гомельская	2,0	1,0	1,1	0,89	1,2	1,6		1,1
Могилевская	0,44	0,20	0,38	0,26	0,19	0,43		0,34
Брянская (Клинцы)	3,9	1,8	0,94	1,2	3,9	7,4	0,30	0,16
Калининская	0,026	0,015			0,056	0,022	0,041	0,51
Новгородская	0,16	0,089					1,2	1,6
Псковская (Насва)	0,074	0,044	0,004	0,011	0,004			0,53
<i>Почва</i>								
Гомельская	0,19	0,072	0,068		0,034			0,41
Могилевская	0,049	0,021	0,001					
Брянская (Клинцы)	6,4	3,0	5,8	0,13	0,26		0,012	
Калининская	0,017	0,007						0,72
Новгородская	0,028	0,014	0,004					
Псковская (Насва)	0,006	0,004	0,001		0,013			

ЧАЭС). Суммарная активность искусственных радионуклидов составляла в водорослях и в рыбе из пруда-охладителя, соответственно, 1000 и 850 кБк/кг сырого веса, что в тысячи раз выше по сравнению с естественной радиоактивностью этих организмов, обусловленной калием-40. Основной вклад в искусственную радиоактивность водорослей пруда-охладителя давали церий-144 и церий-141, цирконий-95 и ниобий-95, цезий-137 и цезий-134, рутений-106 и рутений-103. Основной вклад в удельную активность рыбы из пруда-охладителя вносили радиоизотопы цезия (78%). В реке Припять суммарная активность искусственных радионуклидов в водорослях и моллюсках составляла соответственно 140 и 32 кБк/кг сырого веса, и в сотни раз превышала уровень естественной радиоактивности. Основной вклад в удельную активность моллюсков из реки Припять давали церий-144 и церий-141, цирконий-95 и ниобий-95, рутений-106 и рутений-103, а для рыбы – цезий-137 и цезий-134. В речной биоте за пределами 30-километровой зоны содержание искусственных радионуклидов было сопоставимо или ниже уровня естественной радиоактивности. Суммарная активность донных отложений в пруде-охладителе и реке Припять (30-километровая зона ЧАЭС) в тысячи раз превышала удельную активность природного радионуклида калия-40. Удельная активность воды в водоемах 30-километровой зоны

ЧАЭС в несколько раз превышала в августе 1986 г. уровень естественной радиоактивности и в основном формировалась радиоизотопами цезия, вклад которых составлял 76-93%. За пределами 30-километровой зоны искусственная радиоактивность речных вод в обследованных водоемах была значительно ниже уровня природной радиоактивности.

В наземных экосистемах наиболее высокие концентрации искусственных радионуклидов, в сотни раз превышающие природную радиоактивность, наблюдались в мхах из Киевской, Гомельской и Брянской областей (табл. 2). Суммарная активность мхов в пробах из Киевской и Гомельской областях составляла соответственно около 500 и 250 кБк/кг сырого веса, и в основном была обусловлена церием-144 и церием-141, рутением-106 и рутением-103, цирконием-95 и ниобием-95, а также радиоизотопами цезия. В Новгородской и Псковской областях суммарная активность искусственных радионуклидов составляла 7 и 12 кБк/кг сырого веса, и в несколько раз превышала природную радиоактивность. В хвое и травянистой растительности содержание искусственных радионуклидов было значительно ниже по сравнению с мхами. В пробах из Киевской и Гомельской областей суммарная активность хвои составляла соответственно 54 и 13 кБк/кг сырого веса, а в Калининской и Псковской областях снижалась до 0,3 кБк/кг сырого веса. В Гомельской области суммарная активность искусственных радионуклидов в травянистой растительности составляла 8 кБк/кг сырого веса, а в Калининской и Псковской областях снижалась до 0,1 кБк/кг сырого веса. Для почвы максимальные уровни загрязнения (15 кБк/кг), в основном обусловленные радиоизотопами цезия, наблюдались в пробах из Брянской области. В Калининской и Псковской областях содержание искусственных радионуклидов в почве составляло 0,02 кБк/кг, и было в десятки раз ниже уровня природной радиоактивности.

ОЦЕНКИ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИРОДНОЙ БИОТЫ

Оценки дозы компонент водной и наземной биоты представлены в табл.3 и 4. В августе 1986 г. максимальные величины мощности дозы внутреннего облучения рыбы и водорослей, в тысячи раз превышающие уровень природного фона, имели место в пруде-охладителе ЧАЭС и составляли соответственно 7 и 8 мГр/сут. Для рыбы основной вклад в эту дозу давали радиоизотопы цезия-137 и 134 и рутения-106, а для водорослей радиоизотопы церия-144, циркония-95 и рутения-106. В реке Припять мощности дозы облучения моллюсков и водорослей составляли соответственно 0,3 и 1 мГр/сут, рыбы – 0,06 мГр/сут, что в сотни раз выше дозы от инкорпорированного калия-40. За пределами 30-километровой зоны дозы внутреннего облучения речной

Таблица 3

Оценка мощности дозы облучения водной биоты в августе 1986 г. (мГр/сут)

Водоем	Рыба	Моллюски	Водоросли	От воды	От донных отложений
Пруд-охладитель ЧАЭС	7		8	0,01	3
Река Припять (30-километровой зона ЧАЭС)	0,06	0,3	1	0,007	2
Река Днепр (Гомель)		0,003	0,001	0,00008	0,01
Река Десна (Чернигов)		0,00006	0,0002		0,002
Естественный фон от К-40	0,0006	0,0016	0,002	0,00001	0,001

Примечание: для воды и донных отложений приведены мощности дозы, формируемого ими внешнего облучения организмов, для водной биоты – мощности дозы внутреннего облучения от инкорпорированных радионуклидов.

Таблица 4

Оценка мощности дозы внутреннего облучения наземной биоты в августе 1986 г. (мГр/сут)

Район исследований	Мох	Хвоя
Киевская обл., Дымер	5	0,5
Гомельская обл., окраина Гомеля	2	0,08
Могилевская обл.	0,2	0,004
Брянская обл., Клинцы	0,6	0,05
Калининская обл.	0,006	0,001
Новгородская обл.	0,03	0,007
Псковская обл., Насва	0,04	0,001
Естественный фон от К-40	0,0065	0,005

биоты искусственными радионуклидами заметно снижались до уровня близкого или меньшего по сравнению с природным фоном.

Мощности дозы внешнего облучения донных организмов в обследованных водоемах 30-километровой зоны ЧАЭС составляли 2-3 мГр/сут. Дозы внешнего облучения от воды были в сотни раз ниже по сравнению с облучением от донных отложений. Дозы внешнего облучения донных организмов в реках Днепр и Десна в обследованных участках составляли 0,002-0,01 мГр/сут, что несколько выше природного радиационного фона.

Согласно расчетным оценкам в обследованных зонах аварийного Чернобыльского следа мощность поглощенной дозы внутреннего облучения в кроне сосны варьировала в августе 1986 г. в пределах от 0,05 до 0,5 мГр/сут (в фоновых областях 0,001-0,007 мГр/сут), что значительно ниже уровней облучения, способных оказывать угнетающее действие на хвойные деревья.

Мощности дозы внутреннего облучения мха на обследованной территории радиоактивного следа изменялись в пределах от 0,2 до 5 мГр/сут (в фоновых областях 0,006-0,04 мГр/сут). Максимальные уровни облучения мха оказались на порядок выше, чем у хвои сосны, что связано с повышенной способностью мха концентрировать радионуклиды. Следует, однако, отметить значительную радиорезистентность мхов, радиационное угнетение которых проявляется при дозах, заметно превышающих уровень дополнительного облучения мха в исследованных районах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, представленные результаты радиэкологической экспедиции позволяют сделать вывод, что дополнительное радиационное воздействие на обследованные компоненты водных и наземных экосистем на большей части территории аварийного чернобыльского следа (за исключением ближней 30-километровой зоны ЧАЭС) уже через 3 месяца после аварийного выброса радионуклидов не выходило за пределы диапазона малых доз, сопоставимого или несколько превышающего уровень природного радиационного фона.

Литература

1. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия: Информация, подготовленная для совещания экспертов МАГАТЭ (25-29 августа 1986 г., Вена). – М.: ГКАЭ СССР, 1986.
2. Махонько К.П. (Ред.). Радиоактивное загрязнение территории СССР в 1986 г./Ежегодник. – Обнинск: НПО «Тайфун», 1987.
3. Израэль Ю.А. (Ред.). Чернобыль: Радиоактивное загрязнение природных сред. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 296 с.

4. Радиационные аспекты Чернобыльской аварии/Труды I Всесоюзной конференции. – С.-Пб: Гидрометеиздат, 1993.
5. Ильин Л.А., Губанов В.А. (Ред.). Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. – М.: Издат, 2001. – 752 с.
6. Биологические и радиозоологические аспекты последствий аварии на Чернобыльской атомной станции/Тезисы докладов I Международной конференции «Зеленый мыс». – М.: АН СССР, 1990.
7. Крышев И.И. (Ред.). Радиозоологические последствия Чернобыльской аварии. – М.: Ядерное Общество СССР, 1991. – 190 с.
8. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. – М.: Издат, 2000. – 384 с.
9. Марей А.Н., Зыкова А.С. (Ред.). Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. – М.: МЗ СССР, 1980. – 336 с.
10. IAEA – International Atomic Energy Agency. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms and Ecosystems. Technical Reports Series No. 172. IAEA, Vienna, 1976.
11. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Математическое моделирование миграции радионуклидов в водных экосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
12. Радиационная дозиметрия/Под ред. Дж.Хайна, Г.Браунелла. – М.: Иностран.лит., 1958. – 758 с.

Поступила в редакцию 29.12.2003

Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 4 pages, 4 illustration, 1 table. – References 4 titles.

Ultrasonic converters developed for the automated device for the control of taps pipelines 300-800 millimeters in diameter submitted in the given work. The ultrasonic converters prisms design allows to fix a direction of irradiation of a reference reflector of control sample. The layer of attenuation fluctuations provides an optimum combination of a signal/handicap ratio and resolution. The method of transition matrixes is applied for account of the attenuation fluctuations and intermediate layer.

УДК 502.3

Results of Radioecological Expedition on Territory 30-Kilometer Zone of Chernobyl Nuclear Power Plant and Twelve Regions of Russia, Ukraine and Byelorussia in August 1986 \V.K. Oleynik, I.I. Kryshev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 4 tables. – References 12 titles.

The results of radioecological expedition on territory 30-kilometer zone of Chernobyl Nuclear Power Plant and twelve regions of Russia, Ukraine and Byelorussia in August 1986 are presented. The experimental data are given on content of artificial radionuclides (Cs-137, Cs-134, Ru-103, Ru-106, Zr-95, Ce-144, Ce-141) and natural radionuclide K-40 in components aquatic and terrestrial ecosystem: algae, mollusca, fish, water, bottom sediments, mosses, needle of pine, grass and soil. The estimates of dose rates to components of natural biota are performed on the base of obtained experimental data.

УДК 621.039.5.001.57

Method for Description of Fission Fragments by Two Pseudo-Fission Fragments. Theoretical Model \Yu.V. Volkov, O.B. Duginov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 3 illustration, 2 tables. – References 6 titles.

The model for description of neutron-fission fragments interactions by two pseudo-fission fragments is developed. The methods for ranking of isotopes according to their impact to the neutron balance and determination of the pseudo-fission fragments parameters has been proposed.

УДК 621.039.5.001.57

Elementary Theory of the Ring Nuclear Reactor (Stability of the Ring Reactor) \Yu.V. Volkov, G.Ya. Rumiantsev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 2 illustration, 1 table. – References 4 titles.

Simulators of the ring nuclear reactors are considered in this paper. Influence of geometric parameters of ring configuration on stability of neutron field under distortion is investigated.

УДК 621.039.51

Simulation of Slow Neutron's Transport for TRIGA Reactor \Yu.A. Korovin, A.A. Travleev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 4 illustration, 1 table. – References 10 titles.

The utilization of TRIGA fuel type reactor within a TRADE project requires a detailed analysis of neutron-physics characteristics of the TRIGA core. One of important features of TRIGA fuel – a presence of a moderator – hydrogen in the fuel meat leads to strong negative reactivity feedback. A hydrogen is in the form of zirconium hydride, and a neutron spectrum in the fuel is affected strongly by chemical binding of hydrogen and neighboring atoms in zirconium hydride.

Calculations of multiplication coefficient performed in this work with the help of MCNP code show the importance of taking into account binding effects for some materials used in TRIGA core. Recent evaluations of thermal data for hydrogen in water and in zirconium hydride are reviewed. Some differences in cross-sections from different evaluations are discovered, and an impact of these differences to the multiplication coefficient are displayed.

УДК 621.039.5.001.4

On Possibility of Production ^{242m}Am in the Special Installations \A.L. Kochetkov, Yu.A. Kazansky, V.A. Levchenko, I.P. Matveenko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 6 illustration, 2 tables. – References 8 titles.