

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДЕ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС (1978 - 2004)

О. Л. Зарубин

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

В 1978 - 2004 гг. изучалась динамика содержания искусственных радионуклидов в воде водоема-охладителя ЧАЭС. В 1978 - 1984 гг. суммарное содержание радионуклидов находилось в пределах 0,005 - 0,05 Бк/л. После аварии 1986 г. суммарное содержание радионуклидов в воде достигало $3,7 \cdot 10^5$ Бк/л. С конца 1986 г. основной вклад в радионуклидное загрязнение воды вносят ^{137}Cs и ^{90}Sr . Их содержание резко снижается до 1990 - 1992 г. Затем снижение происходит более плавно. Выявлена сезонная динамика содержания ^{137}Cs – к осени его количество в воде увеличивается. В течение 1987 - 2004 гг. в водоеме-охладителе регистрируется аномально низкое по сравнению с другими водоемами 30-километровой зоны, отношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в воде. В 2004 г. содержание радионуклидов в воде водоема-охладителя ЧАЭС примерно в 100 раз превышает доаварийные уровни.

Введение

При нормальном режиме работы АЭС происходит временная задержка поступления радионуклидов в окружающую среду. Короткоживущие радионуклиды в основном распадаются, прежде чем попадают за пределы технологических систем АЭС. Активно используются системы очистки выбросов от средне- и долгоживущих радионуклидов, что позволяет снизить уровень радиационного воздействия АЭС на окружающую среду до безопасных пределов.

В результате аварии на ЧАЭС радионуклиды (РН) поступали в ее водоем-охладитель (ВО) различными путями: с аэрозольными выпадениями, с жидкими сбросами, в результате дезактивационных работ на промплощадке и прилегающей территории, с водой р. Припять и др. Разнообразие путей поступления обусловило неравномерное по интенсивности и во времени радионуклидное загрязнение ВО.

ВО является полузамкнутым водоемом, в результате чего часть РН из него попадает с дренажными водами в р. Припять, а затем в водохранилища Днепроовского каскада.

ВО представляет собой открытую экосистему с круглогодичным обитанием колоний водоплавающих птиц. В нем обитает более 500 видов и внутривидовых таксонов водорослей, свыше 200 видов беспозвоночных, более 20 видов рыб [1].

Исследование динамики содержания РН в воде ВО вызывает несомненный научный и практический интерес во многих аспектах: в санитарно-гигиеническом – поступление воды ВО в грунтовые воды и р. Припять; в радиобиологическом – влияние концентраций РН в воде (единственно возможной среде существования водных растений и животных) на состояние водной биоты; в радиэкологическом – параметры

миграции РН как внутри экосистемы ВО, так и за ее пределы.

Кроме того, существует целый комплекс радиационных, технических и социально-экономических и политических проблем, связанных с определением дальнейшей судьбы ВО в связи с выведением из эксплуатации ЧАЭС [2 - 4] и потенциальном строительстве на территории 30-километровой зоны объектов хранения и переработки ядерного топлива.

Материал и методика исследований

На акватории ВО в 1978 - 1984 гг. отбор проб воды проводился в летнее время в районе точек 1 и 3 (рис. 1). Отбиралось от 50 до 1000 л. Воду фильтровали через фильтры «синяя лента», а затем подготавливали к измерениям по общепринятым методикам.

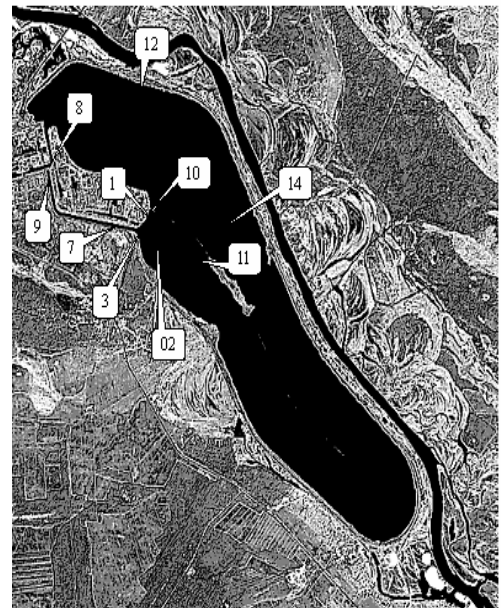


Рис. 1. Схема основных точек отбора проб воды на акватории водоема-охладителя ЧАЭС.

Измерения содержания гамма-излучающих РН проводились методами гамма-спектрометрии с использованием германиевых детекторов типа ДГДК на базе Центра экологических проблем атомной энергетики Института ядерных исследований АН УССР. Время измерения образцов в зависимости от их активности составляло от 3600 до 28800 с. Относительная погрешность измерений активности РН в образцах, как правило, не превышала 20 %, обыкновенно составляя 8 - 12 %.

В 1986 - 1988 гг. отбор проб воды проводился ежеквартально. Объем одной пробы составлял от 1 до 20 л. Вода не фильтровалась. Измерения проводились аналогичными методами гамма-спектрометрии.

В настоящей работе использованы данные Государственного специализированного научно-производственного предприятия «Экоцентр» (г. Чернобыль), опубликованные в материалах [5 - 9].

Результаты исследований и их обсуждение

«Нулевой фон» содержания РН в воде. В результате испытаний ядерного оружия РН поступили во все открытые водоемы Земли. Так, на территории бывшего СССР содержание ^{90}Sr в воде пресноводных водоемов в 1961 - 1971 гг. составляло 0,018 - 0,13 Бк/л, а в последующее десятилетие находилось в более узких пределах - 0,03 - 0,067 Бк/л. Содержание ^{137}Cs было примерно на том же уровне и составляло 0,0074 - 0,07 Бк/л [10].

В связи с введением в эксплуатацию 1-го блока ЧАЭС в 1977 г. были начаты систематические радиоэкологические исследования на акватории крупных водоемов, расположенных в относительной близости от станции [11, 12]. Установлено, что в 1977 - 1980 гг. существовала тенденция снижения содержания ^{137}Cs в воде Киевского водохранилища и впадающих в него рек (табл. 1).

Таблица 1. Содержание ^{137}Cs в воде Киевского водохранилища и его притоков в 1977 - 1980 гг., Бк/л [11]

Водные объекты	1977 - 1978		1979 - 1980	
	минимум	максимум	минимум	максимум
Верхний Днепр	0,0104	0,0115	0,0011	0,0028
р. Припять	0,0012	0,0133	0,0014	0,0034
р. Тетерев	0,0044	0,0104	0,0019	0,0019
Киевское водохранилище	0,0074	0,0122	0,0012	0,0026

Вероятно, это может быть связано со «свежими» поступлениями продуктов деления из атмосферы в 1977 - начале 1978 гг., на что указывается в работе [12]. В конце 1980 г. содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде Киевского водохранилища и реках его бассейна составляло 0,001 - 0,002 и 0,017 - 0,025 Бк/л соответственно [11].

Содержание РН в воде ВО до аварии на ЧАЭС 1986 г. В предпусковой период содержание ^{137}Cs в воде р. Припять, а затем в ВО, в основном, обуславливалось глобальными выпадениями и варьировало в пределах 0,00074 - 0,01000 Бк/л, обыкновенно составляя около 0,00400 Бк/л [13 и собственные данные].

В период нормальной работы ЧАЭС РН поступали в ВО, в основном, с жидкими стоками станции, которые включали в себя дебалансные воды, стоки спецпрачечных и санпропускников. В экосистеме ВО РН распределялись таким образом, что около 95 % их было аккумуляровано в донных отложениях, 0,2 - 1,1 % в сестоне, 0,01 % в моллюсках и около 0,001 % - в высшей водной растительности и рыбах. В воде обычно оставалось не более 3 - 4 %.

Распределение РН в экосистеме любого водоема всегда стремится к квазиравновесному состоянию, но в связи с непрекращающимся метаболизмом гидробиоценозов достижение идеального равновесного состояния РН, независимо от времени года, практически невозможно. В ВО в эти процессы вносили определенный дестабилизирующий вклад регламентированные сбросы ЧАЭС. Кроме того, при пуско-наладочных работах на станции в период 1980 - 1984 гг. могли иметь место пиковые сбросы РН. Это предположение объясняет кратковременные, но чрезвычайно (на 1 - 2 порядка величин) значительные скачкообразные повышения содержания РН в воде и нитчатых водорослях по сравнению со среднегодовыми значениями в этот период.

До аварии 1986 г. в воде ВО практически постоянно регистрировались ^{51}Cr , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{59}Fe (рис. 2).

После вывода на номинальную мощность 1-й очереди ЧАЭС в конце 1979 г. содержание ^{137}Cs в воде ВО в 1980 - 1984 гг. существенно увеличилось по сравнению с начальным периодом эксплуатации (рис. 3). Причиной такого увеличе-

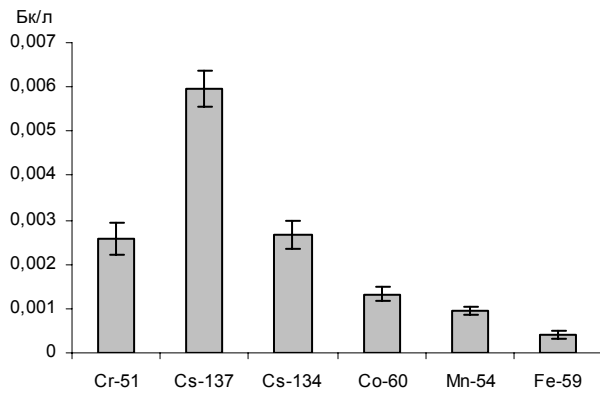


Рис. 2. Содержание некоторых искусственных РН в воде ВО летом 1980 г. (Бк/л).

ния, вероятно, служит то, что максимальный по объему сброс дебалансных вод, как правило, приходится на начальный период эксплуатации АЭС [14].

Вода очень быстро очищается от поступающих в нее РН, большинство из которых интенсивно накапливаются донными отложениями и водной растительностью. Это объясняет трудности регистрации пиковых сбросов, с которыми обязательно должно совпадать время пробоотбора. Все же интегральную оценку поступления РН в ВО можно получить путем измерений нитчатых водорослей, обрастаний и донных отложений. В этих компонентах экосистемы ВО, кроме ^{51}Cr , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{59}Fe , ^{90}Sr , ^{65}Zn , в 1981 - 1985 гг. иногда регистрировались в относительно высоких концентрациях ^{95}Zr , ^{95}Nb и др. Так, в донных отложениях «теплой» зоны, отобранных 13 ноября 1981 г., содержание РН составляло: ^{137}Cs - 676, ^{134}Cs - 308, ^{54}Mn - 243, ^{60}Co - 500, ^{95}Zr - 40, ^{95}Nb - 90 Бк/кг. Таким образом, косвенно подтверждаются пиковые сбросы РН в ВО.

Первоначальное радионуклидное загрязнение воды ВО в результате аварии на ЧАЭС 1986 г. и мероприятий, связанных с ее ликвидацией. Весна и первая половина лета 1986 г. остается довольно «темным» периодом в изучении РН загрязнения различных компонентов ВО. Значительно усложняла оценку радиационного состояния этой экосистемы существенная временная и пространственная неоднородность поступления и распределения РН как по акватории, так и по компонентам ВО. Анализ немногочисленных, часто не соответствующих друг другу разрозненных литературных сведений о начале формирования послеаварийной радиационной обстановки в ВО не позволяет получить достаточно полную картину содержания и распределения РН в основных компонентах этого водоема

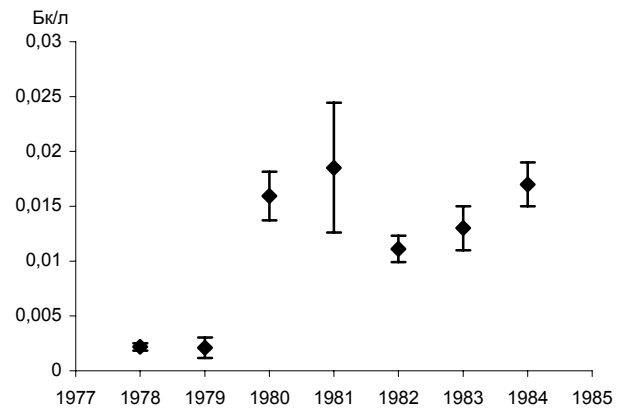


Рис. 3. Динамика содержания ^{137}Cs в воде ВО в период с 1978 по 1984 г. (Бк/л).

в первоначальный период. По нашим приблизительным оценкам максимальное суммарное содержание РН в воде ВО в начале мая 1986 г. могло достигать $n \cdot 10^6 - n \cdot 10^7$ Бк/л и, в основном, определялось короткоживущими РН.

В последующие месяцы наблюдалось значительное уменьшение радиоактивности воды в первую очередь за счет процессов радиоактивного распада короткоживущих изотопов и депонирования РН в донные отложения, а затем и с участием различных физико-химических и биологических процессов.

В июле - августе 1986 г. в донных отложениях было накоплено 96 - 99 % таких РН, как ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{90}Sr . Основной вклад в радиоактивность воды в этот период вносили ^{137}Cs и ^{134}Cs . Содержание ^{137}Cs в воде в пробах от 30 июля и 07 августа 1986 г. составляло 0,3 - 0,8 кБк/л. Кроме того, в воде присутствовали ^{144}Ce , ^{141}Ce , ^{106}Ru , ^{103}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{60}Co , ^{140}Ba , ^{140}La в количестве 0,1 - 26 % от содержания в воде ^{137}Cs . Содержание ^{90}Sr в воде ВО в августе 1986 г. не превышало 2 - 3 % от уровней содержания ^{137}Cs [1].

В последующие полгода содержание РН продолжало снижаться. Кроме изотопов цезия, в нефилтрованной воде регистрировались и другие РН, очевидно, сорбированные на взвешках (рис. 4).

Начиная с 1987 г. регистрируется сезонная динамика содержания ^{137}Cs в воде ВО. Максимум его содержания приходится на осень (рис. 5 и 6). Такая тенденция наблюдается на протяжении всего периода исследований. Очевидно, при сезонном отмирании части планктона и водорослей значительная часть радиоцезия высвобождается и в растворенном состоянии переходит в воду. Возможно, определенную роль в повышении содержания ^{137}Cs играет сезонная динамика температуры воды.

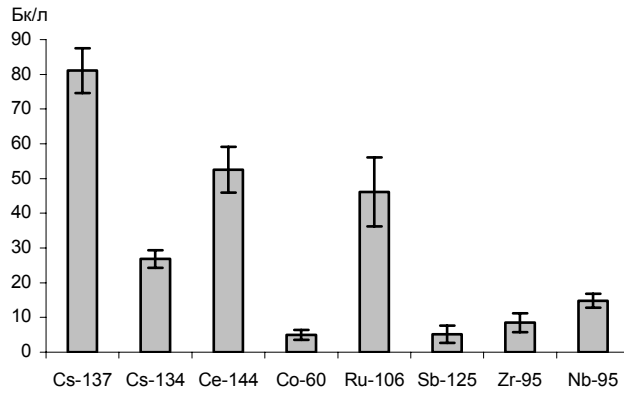


Рис. 4. Содержание РН в воде ВО 11 февраля 1987 г. (Бк/л).

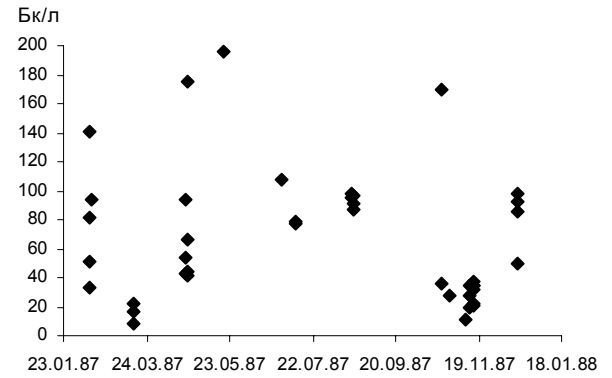


Рис. 5. Содержание ^{137}Cs в воде ВО в 1987 г. (Бк/л).

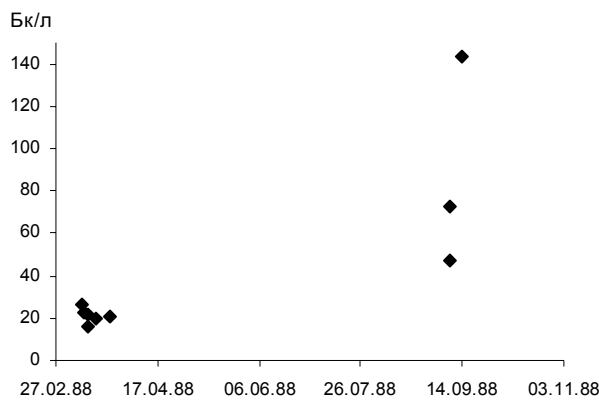


Рис. 6. Содержание ^{137}Cs в воде ВО в 1988 г. (Бк/л).



Рис. 7. Содержание ^{137}Cs в воде застойной зоны и на течении (точка 9, Бк/л).

Содержание ^{137}Cs в пробах воды, отобранных в застойных зонах ниже, чем в пробах, отобранных вблизи, но на течении (рис. 7), что, вероятно, вызвано высоким содержанием взвесей в турбулентных потоках.

Особенностью подводящего и отводящего каналов до конца 2000 г. (выведение ЧАЭС из эксплуатации) являлось практически постоянное различие температуры воды в них. В отводящем канале в зависимости от времени года и параметров работы станции температура воды была выше на несколько градусов Цельсия.

При усреднении данных измерений не отмечено существенных различий в содержании ^{137}Cs в воде подводящего (точка 8) и отводящего (точка 9) канала ЧАЭС (рис. 8), но следует отметить больший разброс значений концентраций ^{137}Cs в точке 9 по сравнению с точкой 8. При прохождении через системы охлаждения ЧАЭС в неплотности трубопроводов в сбрасываемую воду могут поступать РН. При движении водных масс по пути от точки 9 к точке 8 они перемешиваются и слегка разбавляются водой подпитки из р. При-

пятая (точка 12). Это некоторым образом способствует выравниванию концентраций ^{137}Cs в воде подводящего канала ВО.

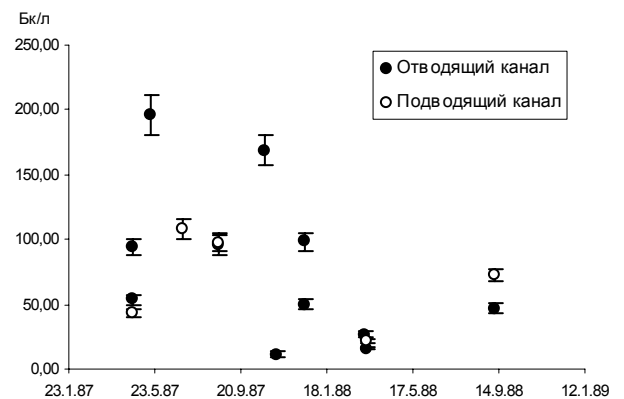


Рис. 8. Содержание ^{137}Cs в воде подводящего и отводящего каналов ВО (Бк/л).

Как правило, наиболее низкое содержание ^{137}Cs в воде регистрировалось в районе точки 12. Здесь расположена насосная станция, компенсирующая потери воды ВО на испарение и фильт-

рацию подпиткой водой р. Припять. Существующая относительно «чистая» зона невелика («язык», в зависимости от ветра и волнения, вытягивающийся на расстояние до 300 м от берега по водоему), поэтому она не оказывает большого влияния на загрязнение РН ВО в целом.

Динамика содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде ВО в 1987 – 2004 гг. По данным Б. С. Пристера и др. (цитируется по [15]) усредненное содержание ^{137}Cs в воде ВО в 1986 г. составляло около 1000 Бк/л [15]. Учитывая неравномерность во времени поступления РН в ВО в 1986 г., эту цифру можно считать малоинформативной, однако, за отсутствием других доступных данных, принимаем ее как условную реперную точку отсчета.

К концу 1986 г., в основном, благодаря осадению ^{137}Cs со взвесями на дно и фиксации его донными отложениями и компонентами экосистемы ВО содержание этого РН значительно снизилось и в 1987 г. составляло в среднем 70 Бк/л. В дальнейшем содержание ^{137}Cs в воде ВО продолжало снижаться, но скорость этого снижения падала с каждым годом. Наиболее интенсивно снижение содержания ^{137}Cs проходило до 1992 г. (рис. 9). В результате содержание ^{137}Cs с 70 Бк/л в 1987 г. снизилось до 1,8 Бк/л в 2004 г.

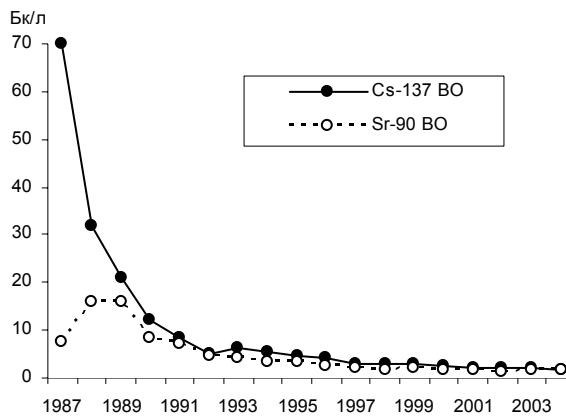


Рис. 9. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде ВО в 1987 - 2004 гг., (Бк/л, с использованием материалов [5 - 9]).

Динамика содержания ^{90}Sr выглядит иначе (см. рис. 9). В 1986 г. его содержание составляло 22 Бк/л [15]. В 1987 г. оно снижается до 8 Бк/л, а затем на протяжении 1988 - 1989 гг. находится на максимальном уровне – 16 Бк/л. По мнению [15, 18], такое повышение вызвано выщелачиванием ^{90}Sr из топливных частиц и массообменом между донными осадками и водой. В дальнейшем снижение концентрации ^{90}Sr определялось главным образом разбавлением более «чистой» водой

р. Припять [16]. К 2004 г. содержание ^{90}Sr снижается до 1,6 Бк/л, что ниже допустимых норм ДР-97.

Баланс ^{137}Cs и ^{90}Sr в системе «ВО ↔ р. Припять» в 1987 - 2004 гг. Ежегодно в результате фильтрации до $100 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ воды из ВО поступает в р. Припять. Компенсируя потери на фильтрацию и испарение, в ВО, в свою очередь, в течение года подкачивается до $150 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ воды из р. Припять.

По данным динамики удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде ВО [5 - 9] рассчитан внешний баланс РН. Из-за различных уровней содержания РН в ВО и р. Припять преобладает вынос РН из ВО, внешний баланс которого в период 1987 - 2004 гг. составил 7,6 ТБк ^{90}Sr и 18,2 ТБк ^{137}Cs .

По нашим расчетам, в р. Припять из ВО в 1987 - 2004 гг. всего поступило около 19 ТБк ^{137}Cs и 9 ТБк ^{90}Sr . Это составляет 31, 6 и 6,8 % соответственно от выноса данных РН р. Припять в районе Чернобыля в тот же период [9]. Следует отметить, что в разные годы процентный вклад ВО в вынос ^{137}Cs и ^{90}Sr р. Припять был примерно одинаков.

В ходе фильтрации и подкачки ВО примерно за год полностью обменивается водными массами с р. Припять. Можно было предположить, что в результате такого обмена содержание РН в воде ВО через несколько лет после аварии приблизится к их содержанию в р. Припять. Однако этого не происходит (рис. 10). Кроме того, превышение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде ВО над их содержанием в воде р. Припять различается между собой. На протяжении периода исследований ^{137}Cs в воде ВО больше в среднем в 30 раз, а ^{90}Sr – в 8,6 раз, чем в воде р. Припять (см. рис. 10). Вероятно, это вызвано особенностями экосистемы ВО.

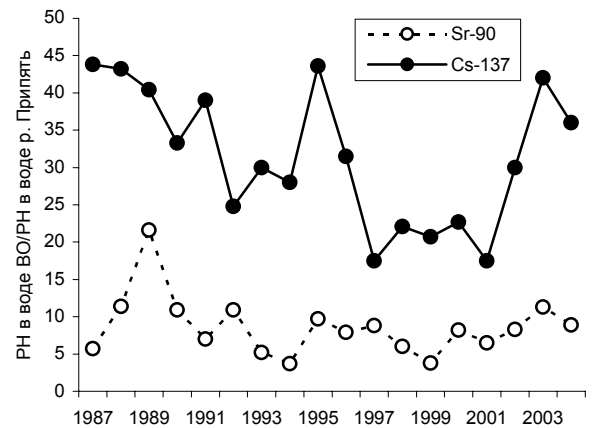


Рис. 10. Динамика отношений содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде ВО к их содержанию в воде р. Припять.

Особенности динамики содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде ВО. В течение 1987 - 2004 гг. содержание ^{90}Sr в воде ВО было всегда ниже, чем ^{137}Cs . Такое отношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в воде, всегда <1 , исключительно, и среди других

<1 , исключительно, и среди других водоемов 30-километровой зоны ЧАЭС характерно только для ВО (табл. 2).

Таблица 2. Отношение содержания $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в воде некоторых водоемов 30-километровой зоны ЧАЭС в 1997 - 2004 гг. (по материалам [9, 17])

Водоем	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.
Яновский затон	5,8	8,1	10,3	17,5	9,6	7,2	9,2	6,8
оз. Далекое-1	10,0	14,7	16,1	28,2	13,5	14,5	17,4	25,0
ВО	0,79	0,58	0,61	0,72	0,72	0,67	0,81	0,89
оз. Азбучин	6,5	7,1	8,3	10,0	11,1	9,3	5,6	8,4
оз. Глубокое	7,7	8,6	8,6	12,8	11,1	10,3	14,7	21,8
р. Припять (г. Чернобыль)	1,6	2,1	3,3	2,0	1,9	2,4	3,0	3,6
р. Уж (с. Черевач)	3,2	2,3	2,5	1,6	2,0	1,6	2,8	4,3

В 1986 г. ближняя зона аварии в основном была загрязнена РН топливной компоненты, в которой содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs было примерно одинаковым [19, 20]. В отличие от близлежащих территорий донные отложения ВО содержат ^{137}Cs в несколько раз больше, чем ^{90}Sr [1, 18].

Причины данного явления до конца не ясны. Вероятно, это обусловлено совокупным воздействием нескольких факторов, основным из которых является очевидное поступление ^{137}Cs в ВО в процессе аварии не только с твердыми и жидкими аэрозолями, но и в результате загрязнения РН реакторных вод [18].

С течением времени увеличивается отношение содержания $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в донных отложениях; очевидно, значительная часть ^{137}Cs находится в легкорастворимом состоянии.

Кроме «нестандартного» отношения $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в компонентах ВО, регистрируется повышенное отношение $^{137}\text{Cs}/^{238, 239+240}\text{Pu}$ [18] в донных отложениях. Отмечалось повышенное отношение $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs}$ в воде и биоте ВО [21] по сравнению с компонентами других водных и наземных экосистем 30-километровой зоны ЧАЭС.

Заключение

Вывод I очереди ЧАЭС на планируемую мощность и пуск II очереди обусловил повышение содержания РН в воде ВО в несколько раз в 1980 г. по сравнению с «нулевым фоном» глобальных выпадений.

В результате аварии 1986 г. суммарное содержание РН в воде ВО увеличилось в миллионы раз. Очевидно, некоторое количество аварийного

^{137}Cs поступило в ВО не только с аэрозолями, но и с жидкими сбросами, о чем свидетельствует аномально высокое содержание ^{137}Cs в компонентах ВО по сравнению со ^{90}Sr .

С различной скоростью РН распадались, сорбировались на взвешях, оседали на дно и накапливались компонентами экосистемы ВО. К концу 1986 г. загрязнение РН воды ВО, в основном, формируют изотопы цезия. В это время вклад ^{90}Sr в загрязнение РН составляет около 5 %. На 1988 – 1989 гг. приходится пик содержания ^{90}Sr в воде ВО, что, вероятно, связано с его выщелачиванием из матрицы топливных частиц и переходом в мобильные формы. Отношение содержания $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в донных отложениях ВО увеличивается с течением времени.

Все это привело к тому, что в течение 1987 - 2004 гг. в ВО регистрируется аномально низкое по сравнению с другими водоемами 30-километровой зоны отношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ в воде.

В 1987 - 2004 гг. максимальные расчетные значения внешнего баланса выноса ^{137}Cs и ^{90}Sr из ВО составили 18,2 и 7,6 ТБк соответственно, что формирует до 30 и 7 % соответственно выноса ^{137}Cs и ^{90}Sr р. Припять в створе Чернобыля.

В 2004 г. содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде ВО не превышает ДУ-97 для питьевой воды и составляет 1,8 и 1,6 Бк/л соответственно.

В заключение автор выражает признательность коллегам ГСНПП «Экоцентр» и ГСП «ЧАЭС» за доброжелательное сотрудничество и предоставленные материалы.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Крышев И.И., Рябов И.Н., Чумак В.К. и др. Радиозологические процессы в водоеме-охладителе Чернобыльской АЭС // Радиэкологические последствия Чернобыльской аварии / Под ред. И. И. Крышева. - М.: ИАЭ им. И. В. Курчатова, 1991. - С. 54 - 70.
2. Зарубин О.Л. Потенциальные проблемы экологического и радиационного состояния экосистемы водоема-охладителя в связи с выведением из эксплуатации ЧАЭС // Сб. тез. Междунар. конф. «Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления», Киев, 18 - 20 апр. 2001, Киев, 2001. - С. 1 - 6.
3. Зарубин О.Л., Тришин В.В., Головач Л.А. и др. Радиационное загрязнение биотических компонентов и проблемы обращения с водоемом-охладителем ЧАЭС. // Наукові і технічні аспекти Чорнобиля. Зб. наук. ст. Вип. 4. - К.: «Політехніка», 2002. - С. 444 - 447.
4. Зарубин О.Л. Проблеми поведження з водоймою-охолоджувачем після закриття ЧАЕС // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 2002. - № 2 (20). - С. 17 - 21.
5. Деревець В.В., Іванов Ю.П., Казаков С.В. та ін. Радіаційний стан зони відчуження // Там же. — 1999. - № 13. - С. 9 - 19.
6. Деревець В.В., Кіреєв С.І., Обрізан С.М. та ін. Радіаційний стан зони відчуження в 2001 році // Там же. - 2002. - № 19. - С. 3 - 31.
7. Деревець В.В., Кіреєв С.І., Обрізан С.М. та ін. Радіаційний стан зони відчуження в 2002 році // Там же. - 2003. - № 21. - С. 3 - 33.
8. Деревець В.В., Кіреєв С.І., Ткаченко Ю.В. та ін. Радіаційний стан зони відчуження в 2003 році // Там же. - 2004. - № 23. - С. 6 - 33.
9. Деревець В.В., Кіреєв С.І., Бицуля В.В. та ін. Радіаційний стан на території зони відчуження в 2004 році // Там же. - 2005. - № 25. - С. 3 - 25.
10. Марей А.Н., Бархударов Р.М., Книжников В.А. и др. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека. - М.: Атомиздат, 1980. - 188 с.
11. Насвит О.И. Характеристика Киевского водохранилища в доаварийный период // Радиэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС. Т. 1: Мониторинг радиоактивного загрязнения природных вод Украины / Под ред. О. В. Войцеховича. - К.: Чернобыльтехинформ, 1997. - С. 231 - 234.
12. Отчет о НИР (1979) Исследование радиационной безопасности АЭС с реакторами большой мощности. Радиационная характеристика окружающей среды Чернобыльской АЭС в начальный период эксплуатации // Отчет 1-05-03-01 (160 - 075) (45 - 4) / НИКИЭТ. - М.: 1979. - 59 с.
13. Разработать методы использования гидробионтов для контроля за радиационными загрязнениями водоемов-охладителей АЭС: (Отчет) / ИГБ АН СССР. - К., 1985. - С. 11 - 87.
14. Казаков С.В. Управление радиационным состоянием водоемов-охладителей АЭС. - К.: Техніка, 1995. - 192 с.
15. Джепо С.П., Скальський А.С., Бугай А.Д. Результаты мониторинга и специальных исследований радиоактивного загрязнения подземных вод зоны отчуждения // Радиэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС. - К.: Чернобыльтехинформ, 1997. - С. 166 - 196.
16. Бугай Д.А., Джепо С.П., Скальський А.С. и др. Миграция радионуклидов аварийного выброса ЧАЭС из пруда-охладителя в р. Припять // Геологический журнал. - 1995. - № 1. - С. 92 - 96.
17. Гудков Д.І., Кіреєв С.І., Обрізан С.М. та ін. Радіоекологічні проблеми перезволоження та заболочування одамбованої території краснянської заплави в зоні відчуження ЧАЕС // Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. - 2005. - № 2 (26). - С. 3 - 7.
18. Кашпаров В.О., Хомутинін Ю.В., Глуховський О.С. та ін. Оцінка небезпечності вторинного вітрового переносу радіоактивних аерозолів після часткового осушення водойми-охолоджувача ЧАЕС // Там же. - 2003. - № 1 (21). - С. 67 - 74.
19. Kashparov V.A., Lundin S.M., Khomutinin Yu. P. et al. Soil contamination with ⁹⁰Sr in the near zone of the Chernobyl accident // Journal of Environmental Radioactivity. - 2001. - Vol. 56, No. 3. - P. 285 - 298.
20. Кашпаров В.А., Лундин С.М., Хомутинин Ю.В. и др. Загрязнение ⁹⁰Sr территории ближней зоны аварии на ЧАЭС // Радиохимия. - 2000. - Т. 42, № 6. - С. 550 - 559.
21. Зарубин О.Л., Шатрова Н.Е. Поведение цезия-137 и цезия-134 в некоторых объектах зоны отчуждения ЧАЭС // Матеріали щорічної наукової конференції Інституту ядерних досліджень. - К., 1997. - С. 365 - 368.

**ДИНАМІКА ВМІСТУ РАДИОНУКЛІДІВ У ВОДІ
ВОДОЙМИ-ОХОЛОДЖУВАЧА ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС (1978 - 2004)**

О. Л. Зарубін

У 1978 - 2004 рр. досліджувалась динаміка вмісту штучних радіонуклідів у воді водойми-охолоджувача ЧАЕС. У 1978 - 1984 рр. сумарний вміст радіонуклідів знаходився в межах 0,005 - 0,05 Бк/л. Після аварії 1986 р. сумарний вміст радіонуклідів у воді сягав $3,7 \cdot 10^5$ Бк/л. З кінця 1986 р. основний вклад у радіонуклідне забруднення води вносять ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr. Їх вміст різко знижується до 1990 - 1992 рр. Потім зниження проходить більш

плавно. Виявлено сезонну динаміку вмісту ^{137}Cs . Восени його кількість у воді зростає. Протягом 1987 - 2004 рр. у водоймі-охолоджувачі реєструється аномально низьке, порівняно з іншими водоймами 30-кілометрової зони, співвідношення $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ у воді. У 2004 р. вміст радіонуклідів у воді водойми-охолоджувача ЧАЕС приблизно в 100 разів перебільшує доаварійні рівні.

**DYNAMIC OF THE CONTENT OF RADIONUCLIDES
IN WATER OF COOLING-POND OF CHERNOBYL NPP (1978 - 2004)**

O. L. Zarubin

Dynamic of the artificial radionuclides content of in water of the cooling-pond of ChNPP was studied starting from 1978 till 2004. The total content of radionuclides was founded within the limits of 0,005 - 0,05 Bq/l in the period of 1978 - 1984. After the accident in 1986 the total content of radionuclides in water amounted to $3,7 \cdot 10^5$ Bq/l. The main contribution in radionuclides' pollution of water introduces ^{137}Cs and ^{90}Sr from the end of 1986. Their content is sharply decreased till 1990 - 1992, and then the decrease occurs more smoothly. Seasonal dynamic of the content of ^{137}Cs is revealed. In by autumn its quantity in water is increased. The abnormal low relation $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ in water of cooling-pond on comparison with other reservoirs 30-km Zone is registered during 1987 - 2004. The content of radionuclides in water of the cooling-pond of ChNPP in 2004 approximately in 100 times exceeds the levels of content before the accident.

Поступила в редакцію 31.01.06,
после доработки – 18.04.06.