

## РАДИОАКТИВНЫЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКИЕ АЭРОЗОЛИ В КАНАДЕ

Б. И. Огородников

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль  
Физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, Россия, Москва*

Рассмотрены результаты анализов около 1000 проб, отобранных в Канаде в 1986 г. на пунктах радиационного мониторинга. Показано, что над Канадой в начале мая сошлись и перемешались радиоактивные облака, выброшенные при взрыве реактора в Чернобыле и распространявшиеся в Северном полушарии с восточными и западными ветрами. При  $\gamma$ -спектрометрии проб были выявлены  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{134,136,137}\text{Cs}$  и не обнаружены в детектируемых количествах  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141,144}\text{Ce}$ . Максимальная концентрация суммы  $\beta$ -излучающих нуклидов  $78 \text{ мБк/м}^3$  зафиксирована в Эдмонтоне 10 – 11 мая. Установлено увеличение отношения активностей  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  с 0,2 – 0,3 в первой декаде мая до 3 – 6 в конце июня. Доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме колебалась от 20 до 100 %.

После известия об аварии реактора на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) отдел радиационной безопасности окружающей среды Департамента здравоохранения и благосостояния Канады приступил к интенсивным наблюдениям [1]. С 29 апреля 1986 г. на 28 пунктах, размещенных по всей стране, начали отбирать аэрозольные пробы с ежесуточной сменой фильтров. Ряд частных и государственных лабораторий присоединились к этой программе. Помимо воздуха детальный радиометрический контроль был установлен за питьевыми и поверхностными водами, атмосферными выпадениями (сухими и мокрыми), продуктами питания (производимыми в стране и импортными).

Аэрозоли собирали на стекловолоконистые фильтры площадью около  $0,05 \text{ м}^2$ , прокачивая за сутки  $900 \text{ м}^3$  воздуха. Затем фильтры авиапочтой направляли в Оттаву, где в бюро радиационных и медицинских приборов упомянутого выше отдела проводили их радиометрию, в том числе  $\gamma$ -спектрометрию на детекторах их сверхчистого германия. Суммарную  $\beta$ -активность фильтров ( $\Sigma\beta$ ) измеряли не ранее чем через трое суток после окончания пробоотбора, т.е. после распада короткоживущих дочерних продуктов естественных благородных газов радона и торона. Предел обнаружения  $^{103}\text{Ru}$  и  $^{131}\text{I}$  составлял  $0,024 \text{ мБк/м}^3$ ,  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  – вдвое выше,  $^{132}\text{Te}$  –  $0,17 \text{ мБк/м}^3$ . Помимо них при  $\gamma$ -спектрометрии проб был идентифицирован  $^{136}\text{Cs}$ . Однако  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141,144}\text{Ce}$  и ряд других радионуклидов чернобыльского генезиса не были обнаружены. Это отражало специфику радиоактивного воздуха, поступившего из Чернобыля в северную часть Западного полушария.

В отчете [1] отмечено, что с восточными ветрами радиоактивное облако через Скандинавию 2 мая достигло Северной Атлантики. На рис. 1 видно, что на пункте мониторинга в Резольюте, расположенном на северо-востоке Канады, первое повышение объемной активности воздуха было зарегистрировано в пробе, экспонированной 2 – 3 мая. На следующие сутки  $\Sigma\beta$  уже в пять раз превышала фоновый уровень. На 4000 км южнее, но также на восточном побережье Канады, первое заметное увеличение  $\Sigma\beta$  произошло в Гринвуде, Галифаксе, Фредериктоне и Дигби при экспозиции фильтров 4 – 5 мая.

Интересно, что в те же сутки продукты аварии были зарегистрированы впервые в юго-западной части Канады: в Виннипеге, Саскатуне, Калгари и Эдмонтоне. Вероятнее всего, они поступили сюда через США, поскольку, как указано в отчете [1], значительное количество радиоактивных веществ при взрыве реактора поднялось на большие высоты и стало распространяться на восток через Азию и Тихий океан. Авторы отчета [1] считают, что это радиоактивное облако достигло западного побережья Канады 7 мая. Во всяком случае, в Ванкувере (самом западном пункте в сети мониторинга) повышенное значение  $\Sigma\beta$  наблюдалось в пробе от 5 – 6 мая, а количественно  $^{131}\text{I}$  и  $^{134,137}\text{Cs}$  были выявлены в пробе от 8 – 9 мая. Таким образом, Канада оказалась районом Северного полушария, где сошлись и перемешались разорванные ветрами над ЧАЭС радиоактивные облака первоначального выброса из разрушенного 4-го блока. Ветры восточной четверти принесли через Атлантический океан

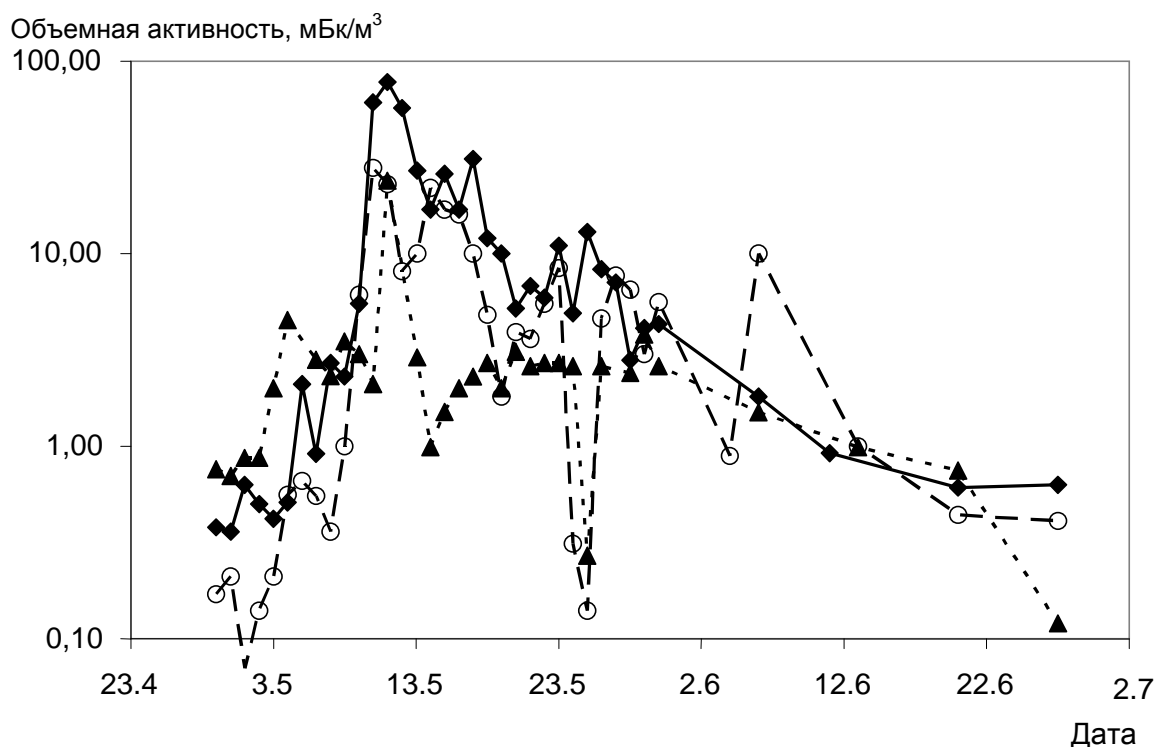


Рис. 1. Объемная активность суммы β-излучающих нуклидов в пробах аэрозолей в Канаде в апреле - июне 1986 г. на пунктах радиационного мониторинга в Дигби (O), Резольюте (▲) и Эдмонтоне (◆)

радиоактивные продукты, распространявшиеся на сравнительно малых высотах (очевидно, до 3 – 4 км). Западные ветры доставили через Тихий океан радиоактивные вещества, поднявшиеся при взрыве на высоту 5 – 7 км и даже в стратосферу. Встречу и перемешивание радиоактивных облаков, распространявшихся после взрыва реактора в противоположных направлениях вокруг Земного шара, можно отнести к еще одной особенности чернобыльских аэрозолей над Канадой.

Чтобы проследить динамику концентраций  $\Sigma\beta$ , были выбраны три пункта мониторинга, расположенные в разных частях страны. На северо-востоке – Резольют, на востоке – Дигби и на западе – Эдмонтон. Последний находится в 700 км от тихоокеанского побережья. Однако именно здесь 9 – 12 мая были зарегистрированы максимальные в Канаде концентрации  $\Sigma\beta$ : около 60 – 80 мБк/м³ (см. рис. 1). В последующие дни концентрации с небольшими колебаниями непрерывно убывали и к концу июня приблизились к фоновым. Из-за малого периода полураспада  $^{132}\text{Te}$  ( $T_{1/2} = 78,2$  ч) перестали обнаруживать в Эдмонтоне после 15 – 16 мая.  $^{131}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 8,04$  дня) и  $^{134}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 2,06$  лет) в последний раз определили в пробе, отобранной 30 мая – 6 июня. Неделями дольше детектировали  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2} = 30,2$  лет).  $^{103}\text{Ru}$  ( $T_{1/2} = 39,4$  дня) в количестве, лишь вдвое превышавшем предел обнаружения, в последний раз зафиксировали в пробе от 13 – 20 июня.

Иная динамика  $\Sigma\beta$  наблюдалась в Резольюте. Весь май концентрации чернобыльских аэрозолей оставались на уровне первых поступлений в Канаду (2 – 4 мБк/м³ 2 – 3 мая). Лишь при пробоотборе 10 – 11 мая  $\Sigma\beta$  возросла до 24 мБк/м³, а 24 - 25 мая снизилась до фонового уровня 0,3 мБк/м³. В июне концентрации систематически снижались и к концу месяца оказались такими же, как в предаварийный период. Также невысокие  $\Sigma\beta$  в диапазоне 2 – 7 мБк/м³ наблюдались в мае на другом северном пункте мониторинга в Инувике. В Корал Харбуре, который также можно отнести к северным пунктам мониторинга, хотя он расположен на 1200 км южнее Резольюта, максимальная  $\Sigma\beta = 6,3$  мБк/м³ была зарегистрирована в пробе от 19 – 20 мая. В остальные майские дни концентрации, как правило, колебались в диапазоне 1 – 4 мБк/м³. Таким образом, воздух в Северной Канаде на протяжении мая,

а затем и июня был незначительно загрязнен продуктами аварии 4-го блока ЧАЭС. Можно констатировать, что хотя первые чернобыльские аэрозоли поступили в Канаду в начале мая по северным траекториям, этот перенос в дальнейшем не являлся определяющим.

В юго-восточной части Канады, где сеть пунктов радиационного наблюдения наиболее густая, динамика концентраций радиоактивных аэрозолей проанализирована по данным пробоотборов в Дигби. Первые количественные определения аэрозолей-носителей  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{134,136,137}\text{Cs}$  были сделаны здесь после пробоотбора 8 – 9 мая. Максимальная  $\Sigma\beta = 28 \text{ мБк/м}^3$  была зарегистрирована в пробе от 9 – 10 мая. Как видно из рис. 1, на протяжении мая и в начале июня в Дигби происходили резкие изменения концентраций аэрозолей. В пробах от 10 – 11 и 13 – 14 мая  $\Sigma\beta$  составляли 23 и 22 мБк/м<sup>3</sup> соответственно, а в промежутке между ними 11 – 12 мая и 12 – 13 мая опускались до 8,1 и 10 мБк/м<sup>3</sup>. Резкие снижения концентраций до 1,8 и даже до 0,3 – 0,14 мБк/м<sup>3</sup> произошли во время пробоотборов 18 – 19 и 23 – 25 мая. Следует обратить внимание на то, что синхронно 24 – 25 мая резкое снижение  $\Sigma\beta$  до фонового уровня отмечено в Резольюте. Можно предположить, что в эти дни произошло вторжение с севера воздушных масс, незначительно загрязненных чернобыльскими продуктами. Последний большой подъем концентрации в Дигби до 10 мБк/м<sup>3</sup> зарегистрирован при пробоотборе 4 – 6 июня. К концу июня  $\Sigma\beta$  опустилась до того уровня. Такая изменчивость концентраций радиоактивных аэрозолей-носителей радионуклидов чернобыльского генезиса в юго-восточной части Канады свидетельствовала о быстрой смене воздушных масс и их поступлении как со стороны Атлантики, так и с континента.

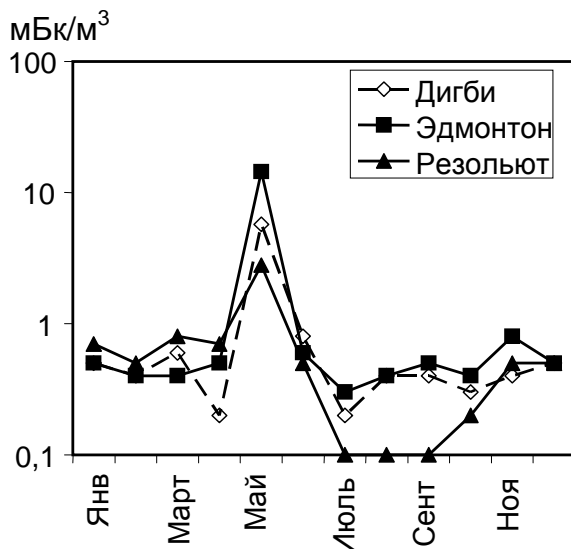


Рис. 2. Среднемесячная объемная активность суммы β-излучающих нуклидов в аэрозолях, отобранных в 1986 г. в Дигби (O), Резольюте (▲) и Эдмонтоне (■)

Общее поступление в Канаду радиоактивных аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии можно оценить по среднемесячным значениям  $\Sigma\beta$ , полученным на 28 пунктах мониторинга. На рис. 2 приведены данные для Резольюта, Эдмонта и Дигби.

Здесь, как и на других пунктах, высокие  $\Sigma\beta$  наблюдались только в мае и начале июня. Наибольшее увеличение (примерно в 30 раз) произошло в Эдмонтоне. На ближайших к нему пунктах в Калгари и Саксатуне концентрации возросли в 25 и 20 раз соответственно. В Ванкувере, расположенном на тихоокеанском побережье около границы с США, как и в Эдмонтоне,  $\Sigma\beta$  в мае примерно в 30 раз превысила фоновый уровень. На юго-востоке Канады в Дигби средняя концентрация за май была в 14 – 16 раз выше, чем в другие месяцы. Меньше, чем на остальных пунктах, возросла майская концентрация в Резольюте. По сравнению с фоном в январе – апреле 1986 г. увеличение было лишь четырехкратным. Дополнительным подтверждением того, что в Северную Канаду чернобыльские аэрозоли поступали в незначительных количествах, служат итоги наблюдений в Резольюте в июле – сентябре, когда среднемесячные  $\Sigma\beta$  не превышали 0,1 мБк/м<sup>3</sup>.

Как отмечено выше, чернобыльские аэрозоли состояли из смеси различных радионуклидов. Исследования проб, отобранных с вертолета над развалом реактора в апреле - мае 1986 г., показали, что в разные дни концентрации и соотношения радионуклидов значительно варьировали [2]. По результатам  $\gamma$ -спектрометрии аэрозольных проб, отобранных в Канаде на пункте мониторинга в Дигби, удалось определить соотношения  $^{132}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  и  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  (рис. 3).

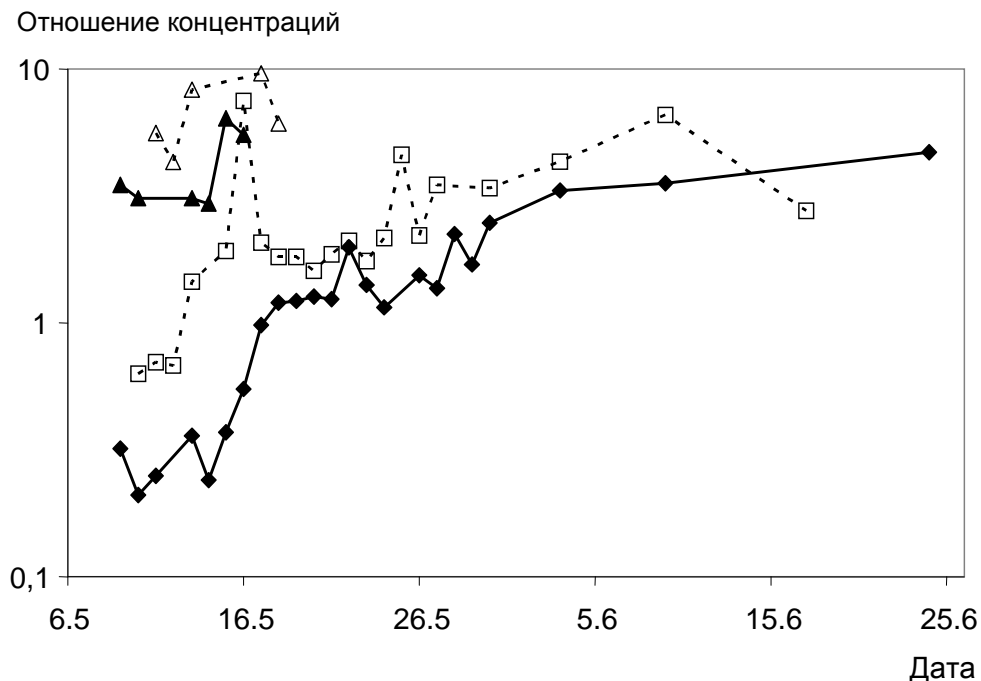


Рис. 3. Отношение объемных активностей  $^{132}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  в Дигби ( $\Delta$ ) и Ванкувере ( $\blacktriangle$ ) и  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  в Дигби ( $\blacklozenge$ ) и Ванкувере ( $\square$ ) в мае - июне 1986 г. Активности пересчитаны на момент аварии 26 апреля 1986 г.

Из-за короткого периода полураспада  $^{132}\text{Te}$  его надежная идентификация была возможна лишь до 17 мая. Чтобы учесть убыль  $^{132}\text{Te}$  за счет радиоактивного распада, результаты измерений были пересчитаны на момент аварии, т.е. 26 апреля 1986 г. Соотношения  $^{132}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  находились в диапазоне 3,1 – 6,4 при среднем значении 4,1.

Аналогично были обработаны результаты измерений  $^{103}\text{Ru}$ . Поскольку его период полураспада существенно больше, чем у  $^{132}\text{Te}$ , то соотношения  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  удалось получить для 23 проб, отобранных с 8 мая по 27 июня. Из рис. 3 следует, что наблюдалось стабильное увеличение соотношения  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  с 0,2 – 0,3 в первые дни поступления чернобыльских аэрозолей в юго-восточную часть Канады до 4,7 в конце июня. Такая динамика, вероятнее всего, была связана с переносом из Чернобыля воздушных масс, обогащенных рутением.

Из научных публикаций известно, что в аэрозольных пробах, отобранных как в районе ЧАЭС, так и в ряде стран Европы, встречались даже “рутениевые” частицы, в которых  $^{103}\text{Ru}$  и  $^{106}\text{Ru}$  преобладали по активности над остальными радионуклидами чернобыльского генезиса. Кроме того, лавообразные топливосодержащие материалы, образовавшиеся после аварии 4-го блока, оказались в три раза обеднены по цезию и в 20 раз и более по рутению [3], чем это следовало из расчетов по наработке продуктов деления урана в твэлах на момент взрыва реактора.

Соотношения концентраций радионуклидов в Дигби были сопоставлены с синхронными наблюдениями на западной стороне Канады в Ванкувере. Расстояние между пунктами около 4000 км. Как следует из рис. 3, временные тренды отношений  $^{132}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  и  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  оказались схожими. Среднее значение  $^{132}\text{Te}/^{137}\text{Cs}$  в Ванкувере составило 6,8, т.е. примерно в

полтора раза выше, чем в Дигби. Временной ход  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  в Ванкувере практически не отличался от того, что наблюдалось в Дигби, но с опережением на 5 – 7 сут. Таким образом, непрерывное увеличение отношения  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  в течение мая - июня 1986 г. стало еще одним специфическим проявлением радионуклидного состава и поведения чернобыльских аэрозолей в Канаде.

Среди продуктов, выделившихся при взрыве реактора, большую радиационную опасность представляли радиоизотопы йода, в частности  $^{131}\text{I}$ . Он был обнаружен в значительных количествах как в окрестностях ЧАЭС, так и на больших удалениях [4]. При этом в атмосфере  $^{131}\text{I}$  находился не только в составе аэрозолей, но и в газообразной форме.

К сожалению, на пунктах радиационного мониторинга Департамента здравоохранения и благосостояния Канады удалось определить радиойод только в аэрозольной форме, поскольку использованные стекловолоконные фильтры газообразные компоненты не улавливали. Однако в некоторых частных и государственных лабораториях, имевших установки, снаряженные помимо аэрозольных фильтров картриджами и колонками с активированным углем, удалось не только определить полное содержание  $^{131}\text{I}$  в атмосфере, но и соотношение его аэрозольных и газообразных форм. В [1] приведены данные по радиойоду для семи пунктов, среди которых Торонто на юге, Ванкувер на западе, Фредериктон, Дигби, Диппер Харбур на юго-востоке. Последний является одним из пунктов, контролирующих радиационную обстановку около АЭС “Point Lepreau” в заливе Фанди. В Дигби отбор и анализ проб проводили в лаборатории Бедфордского института океанографии (БИО).

На рис. 4 представлены концентрации  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в Дигби-БИО с 7 мая по 6 июня. Экспонировали фильтры 2 – 3 сут.

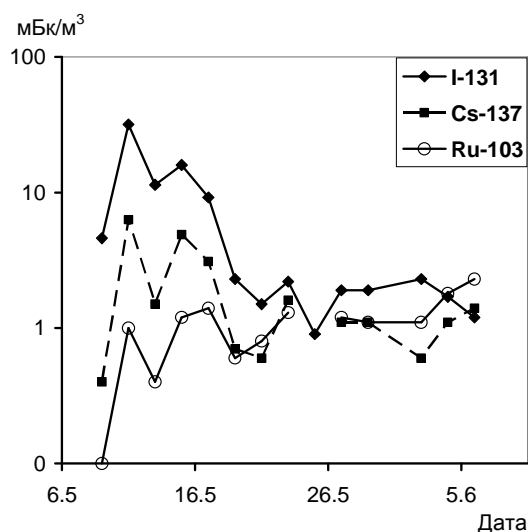


Рис. 4. Объемные активности аэрозолей  $^{103}\text{Ru}$  (○),  $^{137}\text{Cs}$  (■), суммы аэрозольных и газообразных форм  $^{131}\text{I}$  (◆) на пункте Дигби-БИО в мае 1986 г.

Видно, что наибольшие концентрации, особенно при первых пробоотборах, приходились на  $^{131}\text{I}$ . К концу мая в связи с его радиоактивным распадом и повышением в смеси радионуклидов доли  $^{103}\text{Ru}$  различие в объемных активностях стало сглаживаться. Сравнение с данными рис. 1 показывает, что временная динамика концентраций радиоактивных аэрозолей на двух пунктах в Дигби идентична: первый подъем активности пришелся на 9 – 10 мая, второй – на 13 – 14 мая, а затем резкий спад 18 – 19 мая. Еще одно значительное уменьшение активности в воздухе, произошедшее в Дигби 23 – 25 мая (см. рис. 1), характеризуется  $\sum\beta$  на уровне предаварийного фона. В отчете [1] для этого периода величины активностей  $^{103}\text{Ru}$  и  $^{137}\text{Cs}$  не указаны, поскольку, если они и находились в воздухе, то концентрации были ниже предела чувствительности. При этом  $^{131}\text{I}$  был зафиксирован только благодаря угольному картриджу, поскольку практически полностью находился в газообразной форме.

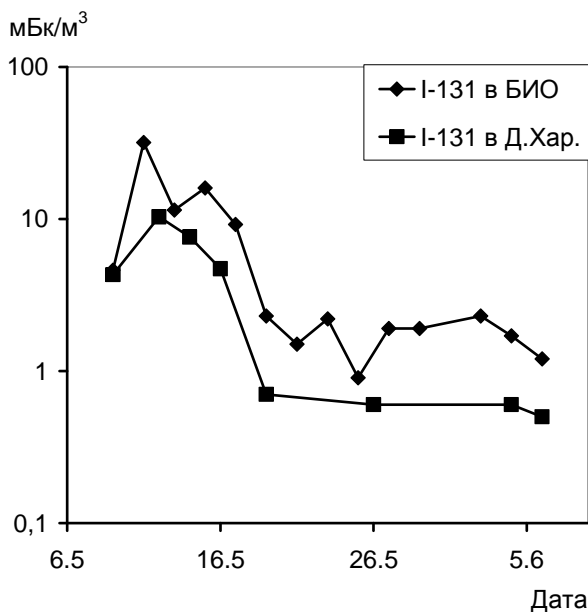


Рис. 5. Объемные активности суммы аэрозольных и газообразных форм  $^{131}\text{I}$  на пунктах в Дигби-БИО (♦) и Диппер Харбур (■) в мае 1986 г.

Диппер Харбур, в котором полные концентрации  $^{131}\text{I}$  наблюдали в мае и начале июня, расположен в 97 км севернее Дигби на противоположном берегу залива Фанди. Казалось бы из-за сравнительно небольшого расстояния концентрации радиойода должны практически совпадать. Однако, как видно из рис. 5, хотя динамика содержания  $^{131}\text{I}$  различалась незначительно, абсолютные концентрации в Дигби были, как правило, выше в 1,5 – 3 раза.

Результаты, представленные на рис. 4, позволили рассчитать соотношения  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  и  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$ . Как следует из рис. 6, на протяжении месяца отношения концентраций  $^{131}\text{I}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в Дигби оставались достаточно стабильными, как правило, в диапазоне 15 – 30 при среднем значении 25,8. Лишь в пробе от 29 мая – 2 июня отношение достигало 75. Соотношения  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$ , рассчитанные по пробам, отобранным на двух пунктах в Дигби, практически совпали (см. рис. 3 и 6).

По аналогии с Дигби радионуклидные соотношения были определены для проб, отобранных в Диппер Харбуре (рис. 6б). Величины  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  оставались стабильными в диапазоне 5 – 15 при среднем значении 9,1. Это примерно втрое ниже, чем при пробоотборах на пункте Дигби-БИО. Таким образом, даже расстояние в 100 км отразилось на концентрациях  $^{131}\text{I}$ , причем, как будет показано ниже, на его газообразных формах. Сопоставление рис. 6б с рис. 3 и 6а позволяет убедиться, что отношения  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  в Диппер Харбуре и на двух пунктах пробоотбора в Дигби на протяжении месяца оставались практически идентичными как по абсолютной величине, так и временной динамике. Непрерывное по времени увеличение  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$ , зарегистрированное в Дигби, подтвердилось в Диппер Харбуре.

Использование аэрозольных фильтров и угольных сорбентов позволило определить количество  $^{131}\text{I}$ , находившегося в аэрозольной и газообразной формах. На рис. 7 представлены данные о доле  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме, полученные при пробоотборах в Торонто, Фредериктоне, Дигби-БИО и Диппер Харбуре. За 100 % принята сумма активности, зарегистрированной на аэрозольном фильтре и на сорбенте.

Из рис. 7 следует, что доля радиойода в газообразной форме значительно отличалась как от пункта к пункту, так и на одном пункте в разные дни.

В Торонто и Фредериктоне, находящихся в юго-восточной части Канады на расстоянии около 1000 км друг от друга, комбинированным способом удалось отобрать только по четыре пробы на начальной стадии поступления чернобыльских аэрозолей. В Торонто доля радиойода в газообразной форме колебалась от 56 до 67 %, в Фредериктоне – от 43 до 55 %. В Дигби, находящемся в 200 км южнее Фредериктона, комбинированным способом были отобраны 14 проб. Здесь в начальный период поступления аэрозолей из Чернобыля доля  $^{131}\text{I}$  в газе колебалась от 53 до 65 %, т.е. была близка к тому, что одновременно наблюдали в

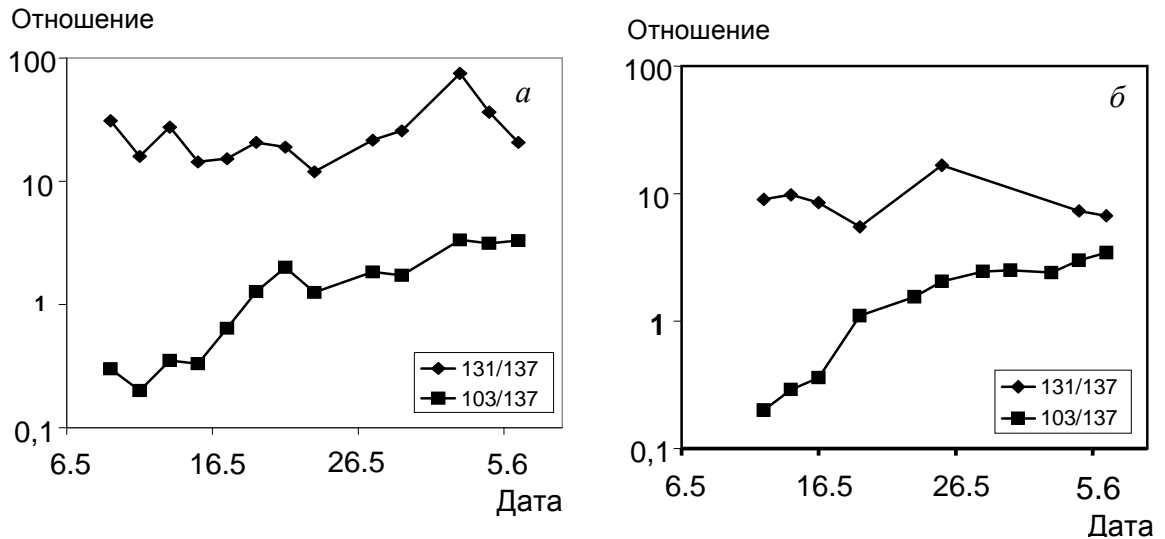


Рис. 6. Отношение полных (аэрозоль + газ) объемных активностей  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  (◆) и  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  (■) в пробах воздуха в мае - июне 1986 г. на пунктах Дигби-БИО (а) и Диппер Харбур (б). Активности пересчитаны на момент аварии 26 апреля 1986 г.

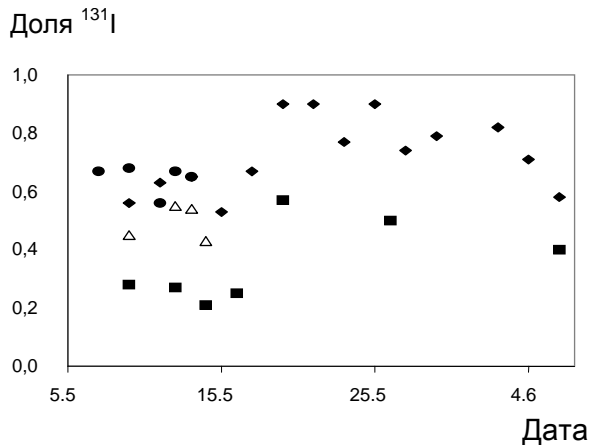


Рис. 7. Доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме при радиационном мониторинге в мае 1986 г. на пунктах в Торонто (●), Дигби-БИО (◆), Фредериктоне (Δ) и Диппер Харбуре (■).

Торонто и Фредериктоне. Однако после 17 мая, когда концентрации аэрозолей в Дигби стали убывать (см. рис. 1 и 4), доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме стала увеличиваться. В трех пробах, отобранных 17 – 19, 19 – 21 и 23 – 25 мая, на аэрозольных фильтрах количество  $^{131}\text{I}$  было меньше предела детектирования. Формально можно было считать, что доля йода в газообразной форме составляет 100 %. Однако, учитывая ошибки измерений, целесообразнее принять, что доля йода близка к 90 %. После 25 мая в Дигби доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме стала уменьшаться, и в пробе, отобранной 4 – 6 июня, она составила 56 %, т.е. вернулась к уровню месячной давности.

В Диппер Харбуре, расположенном в 100 км от Фредериктона и 100 км от Дигби, комбинированным способом получены семь проб. Как видно из рис. 7, с 7 по 15 мая, когда в Торонто, Фредериктоне и Дигби доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме колебалась в диапазоне 45 – 65 %, в Диппер Харбуре она была вдвое меньше. В последующие дни, когда концентрации радиойода, как и в Дигби, понизились, доля  $^{131}\text{I}$  в газовой форме возросла до 57 %. Еще две пробы, взятые 23 – 26 мая и 4 – 6 июня, показали, что доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме, как и в Дигби, снизилась сначала до 50, затем до 40 %.

Представленные данные позволяют заключить, что в радиоактивных облаках, поступивших в Канаду из Чернобыля в мае – начале июня 1986 г., радиойод находился не только в аэрозольной, но и в газообразной формах, причем в сопоставимых количествах. Наличие этих форм наблюдалось как при высоких, так и при низких концентрациях  $^{131}\text{I}$  и других

радионуклидов. В ряде случаев доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме составляла около 90 %. К сожалению, данные отчета [1] не позволяют проанализировать, в каком виде  $^{131}\text{I}$  находился в воздухе над Канадой (молекулярный  $\text{I}_2$ , органический  $\text{CH}_3\text{I}$  и т.д.) [5]. Полученные результаты согласуются с тем, что наблюдалось при изучении газообразных форм радиойода в районе ЧАЭС, в Европе, Японии, США, и являются важной частью исследований образования, переноса и трансформации радиоактивных чернобыльских облаков [6].

### Выводы

1. Рассмотрены результаты анализа около 1000 проб аэрозолей, отобранных в мае - июне 1986 г. в Канаде на 30 пунктах радиационного мониторинга.

2. На основании динамики концентраций радиоактивных аэрозолей показано, что продукты аварии 4-го блока ЧАЭС впервые поступили в Канаду 2 – 3 мая через северо-восточные районы, а затем практически одновременно 4 – 5 мая через западные и восточные. Таким образом, над Канадой сошлись и перемешались радиоактивные облака, выброшенные в начальной фазе Чернобыльской аварии и распространявшиеся в Северном полушарии с восточными и западными ветрами.

3. Максимальная объемная активность суммы  $\beta$ -излучающих нуклидов  $78 \text{ мБк/м}^3$  была зафиксирована в пробе аэрозолей, отобранной на западе Канады в Эдмонтоне 10 – 11 мая. Концентрации радиоактивных аэрозолей чернобыльского генезиса, превышавшие предел чувствительности пробозаборной и измерительной аппаратуры, наблюдались на канадских пунктах сети радиационного мониторинга в 1986 г. лишь в мае и июне.

4. Продукты Чернобыльской аварии, выявленные методом  $\gamma$ -спектрометрии аэрозольных проб, были представлены преимущественно  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{134,136,137}\text{Cs}$ . Не обнаружены в детектируемых количествах  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141,144}\text{Ce}$  и ряд других радионуклидов.

5. Анализ концентраций  $^{103}\text{Ru}$  и  $^{137}\text{Cs}$  показал, что в составе чернобыльских аэрозолей, поступивших в Канаду, происходило непрерывное увеличение соотношения активностей этих радионуклидов от 0,2 – 0,3 в первой декаде мая до 3 – 6 в конце июня.

6. Использование комплексных средств отбора проб (аэрозольного фильтра и угольного сорбента) позволило выявить присутствие  $^{131}\text{I}$  как в аэрозольной, так и газообразной формах. Их соотношение широко варьировало как в пробах, отобранных в разные дни на одном пункте, так и в один день на разных пунктах. Минимальная доля  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме около 0,2 – 0,3 наблюдалась в Диппер Харбуре на юго-востоке Канады 8 – 16 мая. В течение следующей недели всего в 100 км южнее в Дигби-БИО были зарегистрированы уровни содержания  $^{131}\text{I}$  в газообразной форме, приближавшиеся к 100 %.

Автор благодарит Г. И. Шумилина за оформление рисунков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Environmental Radioactivity in Canada-1986. Radiological monitoring annual report. No 87-EHD-136. Health and Welfare Canada. 1987. Ottawa.*
2. *Dobrynin Yu.L., Khrantsov P.B. Date verification methodology and new data for Chernobyl source term // Radiation Protection Dozimetry. - 1993. – Vol. 50, No. 2 – 4. – P. 307 – 310.*
3. *Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия. – 1994. – Т. 36, вып. 2. – С. 97 – 142.*
4. *Борисов Н.Б., Вербов В.В., Кауров Г.А. и др. Состав и концентрации газоаэрозольных радиоактивных веществ над развалом IV блока ЧАЭС и в дальней зоне в мае 1986 г. // Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроль качества продукции. 1992. – Вып. 1. – С. 11 – 17.*
5. *Borisov N.B., Budyka A.K., Verbov V.V., Ogorodnikov B.I. Monitoring radioiodine in air // J. Aerosol Sci. – 1994. – Vol. 25, Suppl. 1. - P. S271 – S272.*
6. *Budyka A.K., Ogorodnikov B.I. Chernobyl radioactive aerosols // Aerosol's Handbook / Ed. by L. S. Ruser. - Florida, CRC Press. 2005.*

Поступила в редакцию 10.02.06



### 3 РАДИОАКТИВНІ ЧОРНОБИЛЬСЬКІ АЕРОЗОЛІ В КАНАДІ

**Б. І. Огородников**

Розглянуто результати аналізів близько 1000 проб, відібраних у Канаді в 1986 р. на пунктах радіаційного моніторингу. Показано, що над Канадою на початку травня зійшлися й перемішалися радіоактивні хмари, які були викинуті під час вибуху реактора у Чорнобилі й розповсюдились у Північній півкулі зі східними та західними вітрами. При  $\gamma$ -спектрометрії проб були виявлені  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{134,136,137}\text{Cs}$  і не виявлено в детектованих кількостях  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ . Максимальна концентрація суми  $\beta$ -випромінюючих нуклідів  $78 \text{ мБк/м}^3$  зафіксована в Едмонтоні 10 - 11 травня. Установлено збільшення відношення активностей  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  від 0,2 – 0,3 у першій декаді травня до 3 - 6 в кінці червня. Частка  $^{131}\text{I}$  в газовій формі коливалася від 20 до 100 %.

### 3 RADIOACTIVE CHERNOBYL AEROSOLS IN CANADA

**B. I. Ogorodnikov**

The results of analyses about 1000 samples with Chernobyl radioactive aerosols sampled on points of Canadian radiation monitoring set in 1986 are considered. It was shown, that over Canada radioactive plums resulted at the Chernobyl reactor explosion came off and mixed. At  $\gamma$ -spectrometry of aerosol samples  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{134,136,137}\text{Cs}$  recorded.  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  and some other radionuclides were non-detectable. Maximum gross  $\beta$ -radioactivity level of  $78 \text{ mBq/m}^3$  observed in Edmonton of May 11th. Relation of concentration of  $^{103}\text{Ru}/^{137}\text{Cs}$  increa Florida, sed from 0,2 – 0,3 to 3 – 6 from early May to late June. Part of  $^{131}\text{I}$  in gaseous form was in the range 20 – 100 %.