

## РАДИОНУКЛИДНЫЙ МОНИТОРИНГ АЭРОЗОЛЕЙ В ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» ЧАЭС (ОБЗОР)

Б. И. Огородников<sup>1</sup>, В. Е. Хан<sup>1</sup>, В. А. Краснов<sup>1</sup>, М. И. Звеницкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

<sup>2</sup> ГСП «Чернобыльская АЭС», Славутич

Представлены концентрации радиоактивных аэрозолей-продуктов аварии 4-го энергоблока ЧАЭС вблизи объекта «Укрытие». В 1986 – 2008 гг. загрязненность воздуха систематически снижалась. С помощью проб, отбираемых круглосуточно тремя установками, размещенными на расстояниях 300 – 400 м от центра объекта «Укрытие», показано, что содержание аэрозолей существенно зависит от вида работ и пылеподъема вблизи установок. В 2000 – 2008 гг. концентрация аэрозолей-носителей  $^{137}\text{Cs}$  стабилизировалась в локальной зоне на уровне 3 мБк/м<sup>3</sup>. Отношение концентраций  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  за период 1993 – 2007 гг. находилось в диапазоне 50 - 70 и близко к расчетной величине выгорания ядерного топлива 11 МВт·сут/кг урана.

Радиационная обстановка на промплощадке ЧАЭС тщательно контролировалась как до, так и после аварии 1986 г. В результате взрыва реактора 4-го энергоблока в западной части площадки, где позже была выделена локальная зона объекта «Укрытие» (рис. 1), выпало наибольшее количество радиоактивных веществ.

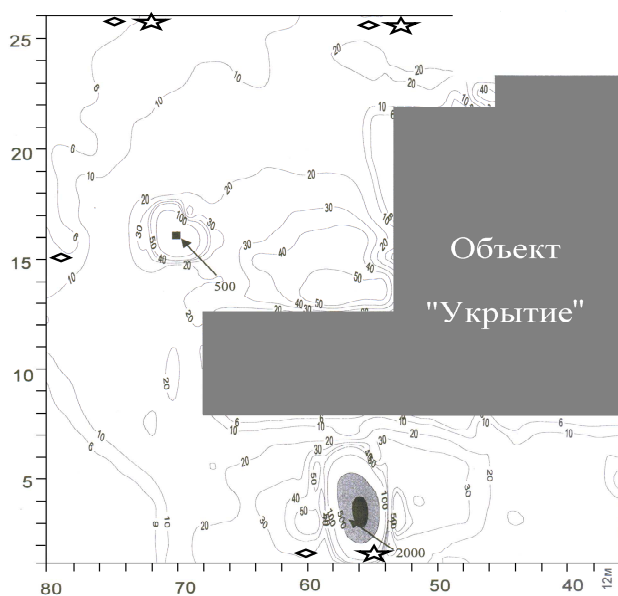


Рис. 1. Схема локальной зоны объекта «Укрытие»:

- ☆ – установки ИПБ АЭС НАН Украины;
- ◇ - установки ИАБ УААН; изолинии – мощность экспозиционной дозы, мР/ч.

В первые недели и месяцы после аварии значительные усилия людей и материальные средства были направлены на дезактивацию территории. Работы по разборке завалов, вывозу загрязненных конструкций и грунта шли одновременно со строительством объекта «Укрытие» и сопровождались поступлением в атмосферу больших количеств радиоактивной пыли. При этом продолжался вынос радиоактивных веществ из развала реактора с горячими конвективными потоками. Загрязненный воздух негативно воздействовал не только на персонал, но и на технику, например при работе двигателей внутреннего сгорания. Ветер способствовал переносу наиболее мелких частиц микронных и субмикронных размеров на десятки километров от ЧАЭС.

Уже в первые дни после аварии специалисты ЧАЭС, военных подразделений радиационно-химической разведки, научно-исследовательских организаций приступили к отбору проб аэрозолей в различных точках вокруг станции, в помещениях 1 - 3-го энергоблоков и системах вентиляции [1 - 7]. Систематические наблюдения за радионуклидным составом и концентрациями аэрозолей на промплощадке были начаты в первой декаде июня 1986 г., когда при отделе дозиметрического контроля УС-605 силами Радиевого института (РИ) им. В. Г. Хлопина была создана лаборатория радиометрии [3, 8]. Ее возглавил Э. М. Пазухин (ныне доктор технических наук), который на протяжении всех поставарийных лет продолжает вести

научные исследования в объекте «Укрытие» сначала в составе Комплексной экспедиции при Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова, а затем в МНТЦ «Укрытие» и ИПБ АЭС НАН Украины.

С 11 июня специалисты лаборатории радиометрии начали ежедневные пробоотборы аэрозолей с борта БТР, объезжавшего ЧАЭС по периметру. Воздух прокачивали через фильтры АФА РМП-20. Результаты гамма-спектрометрии проб на полупроводниковом детекторе с анализатором «Nokia LP-4900», которым была оснащена лаборатория, представлены на рис. 2. Как видно, объемная активность смеси радионуклидов  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{103,106}\text{Ru}$ ,  $^{134,137}\text{Cs}$ ,  $^{141,144}\text{Ce}$  была высокой и существенно колебалась, причем в пяти из 19 отобранных проб концентрация превышала  $740 \text{ Бк/м}^3$ , т.е. временно установленную норму ДКА. Лишь в пяти пробах концентрация оказалась ниже половины предельного норматива. Высокая концентрация была следствием строительных и дезактивационных работ около 4-го блока и интенсивного движения транспорта. К концу июня в соответствии с радиоактивным распадом уже практически отсутствовали изотопы йода, лантана, бария, теллура и др.

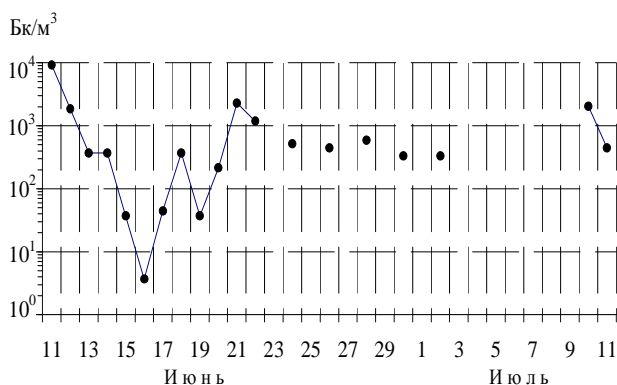


Рис. 2. Объемная активность аэрозолей в пробах при движении БТР по территории ЧАЭС летом 1986 г.

В июле работы лаборатории радиометрии РИ им. В. Г. Хлопина были расширены. Ежесуточный мониторинг радиоактивных аэрозолей стали проводить в 14 точках, включая ряд помещений 3-го блока, блока В, здания хранилища жидких и твердых радиоактивных отходов (ХЖТО), а также на территории ЧАЭС около административно-бытового корпуса 1 (АБК-1), бытового корпуса 2 (БК-2), контрольно-пропускного пункта 3, хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ) и ХЖТО [8]. В сентябре к ним добавили

еще 14 точек, в том числе в Чернобыле. Некоторые результаты этих наблюдений, продолжавшихся до сдачи объекта «Укрытие» в эксплуатацию, представлены на рис. 3.

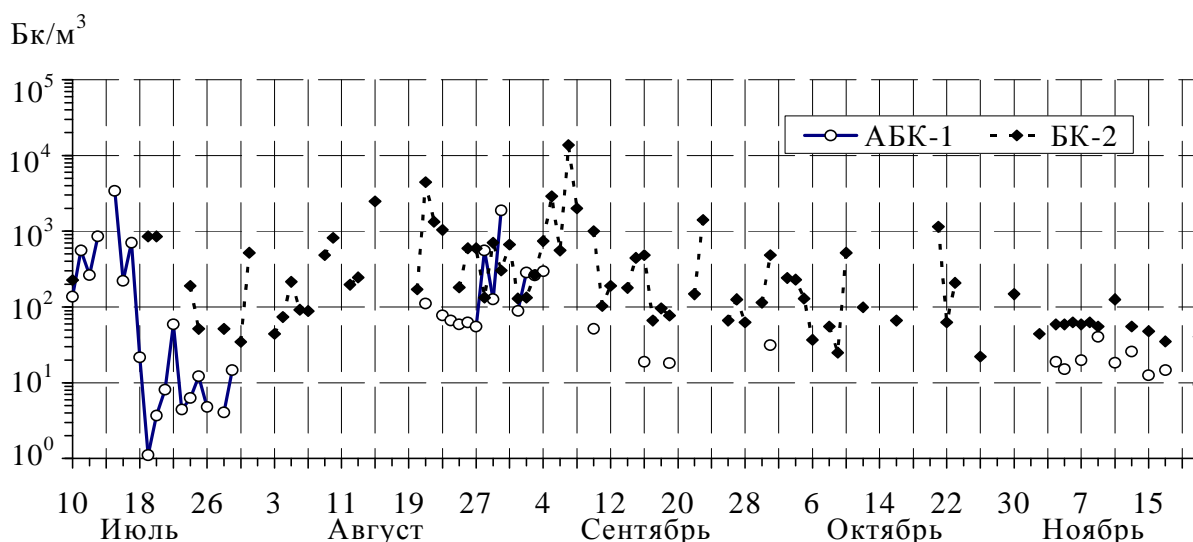


Рис. 3. Объемная активность аэрозолей в июле - ноябре 1986 г. в АБК-1 и БК-2.

Из рис. 3 следует, что около БК-2 в июле, августе и сентябре концентрация аэрозолей-носителей гамма-излучающих нуклидов сохранялась, как правило, в диапазоне  $10^2 - 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>. Такая высокая концентрация была обусловлена тем, что точка пробоотбора находилась всего в 150 м к востоку от того места, где велись интенсивные работы по возведению северной каскадной стены объекта «Укрытие». Еще ближе располагался забой шахтеров, которые в начале лета сооружали бетонную плиту-холодильник под реактором 4-го блока. Точка пробоотбора около АБК-1 находилась примерно в полутора километрах на восток от 4-го блока. Хотя первичные продукты взрыва были выброшены в западном, а не в восточном направлении, концентрации аэрозолей около АБК-1 и БК-2 оказались сопоставимы. Вероятнее всего, это было связано с интенсивным движением транспорта около АБК-1, где сходились маршруты многих исполнителей работ и куда постоянно прибывали машины из районов с высокой загрязненностью грунта, сооружений и техники. Значительные колебания концентраций происходили помимо техногенных факторов под воздействием метеоситуации (осадки, ветер). Так, одна из самых высоких концентраций (4400 Бк/м<sup>3</sup> около БК-2) была зафиксирована 21 августа при сильном западном ветре, порывы которого достигали 10 - 15 м/с.

Лишь в октябре - ноябре, когда строительные работы на объекте «Укрытие» стали менее интенсивными и значительные участки около него были очищены от выпавших при аварии радиоактивных веществ, засыпаны гравием, песком или забетонированы, концентрация аэрозолей снизилась до 10 - 100 Бк/м<sup>3</sup>. Это снижение было отмечено специалистами РИ им. В. Г. Хлопина во всех точках контроля на промплощадке ЧАЭС. Выпадение осадков также уменьшало пылеподъем.

После сдачи объекта «Укрытие» в эксплуатацию (30 ноября 1986 г.) потребовался примерно год для налаживания системы контроля радиоактивных аэрозолей на его промплощадке. В публикации [9], подготовленной специалистами ПО «Комбинат», приведены объемные активности аэрозолей, отобранных в 1987 г. около ХЖТО (~ 400 м на северо-запад от объекта «Укрытие»). При двухнедельной экспозиции фильтров были получены следующие среднемесячные величины (Бк/м<sup>3</sup>): июнь – 7,1, июль – 4,1, октябрь – 0,2, ноябрь – 0,3.

Для периода с сентября 1987 по июль 1988 г. управлением дозиметрического контроля ПО «Комбинат» для промзоны (1 км вокруг ЧАЭС) была утверждена контрольная концентрация смеси радионуклидов 0,74 Бк/м<sup>3</sup> [10]. В эту смесь были включены <sup>90</sup>Sr, <sup>95</sup>Zr, <sup>95</sup>Nb, <sup>106</sup>Ru, <sup>134, 137</sup>Cs, <sup>144</sup>Ce и <sup>238-240</sup>Pu.

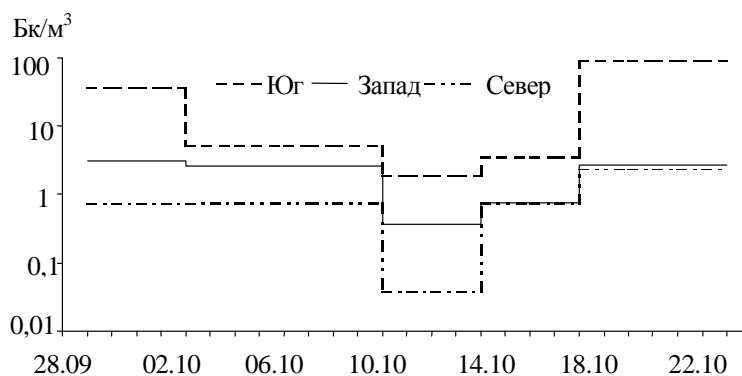


Рис. 4. Объемная активность смеси радионуклидов в аэрозолях на севере, западе и юге локальной зоны объекта «Укрытие» в октябре 1988 г.

с расходом 400 – 500 м<sup>3</sup>/ч. Фильтры экспонировали около 5 сут. На рис. 4 приведены объемные активности смеси радионуклидов в аэрозолях в сентябре - октябре 1988 г. [11].

Когда в 1988 г. началось бурение скважин для поиска топливосодержащих материалов в подреакторном пространстве 4-го блока, контроль газоаэрозольной обстановки внутри объекта «Укрытие» и в его локальной зоне был возложен на группу специалистов РИ им. В. Г. Хлопина и КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. К этому времени в локальной зоне уже действовали четыре фильтро-вентиляционные установки. Они обеспечивали круглосуточную прокачку воздуха через материал ФПП-15-1,5

Из рис. 4 следует, что наиболее высокие значения, достигавшие  $100 \text{ Бк/м}^3$ , наблюдались в южной части промплощадки. Для всех трех установок диапазон между максимальными и минимальными концентрациями составлял один-два порядка величины. Хотя расстояние между установками было всего 200 – 300 м, концентрации при одновременных пробоотборах совпадали крайне редко. Из этого следует, что аэрозольная обстановка на промплощадке определялась местными источниками, а не региональными воздушными массами.

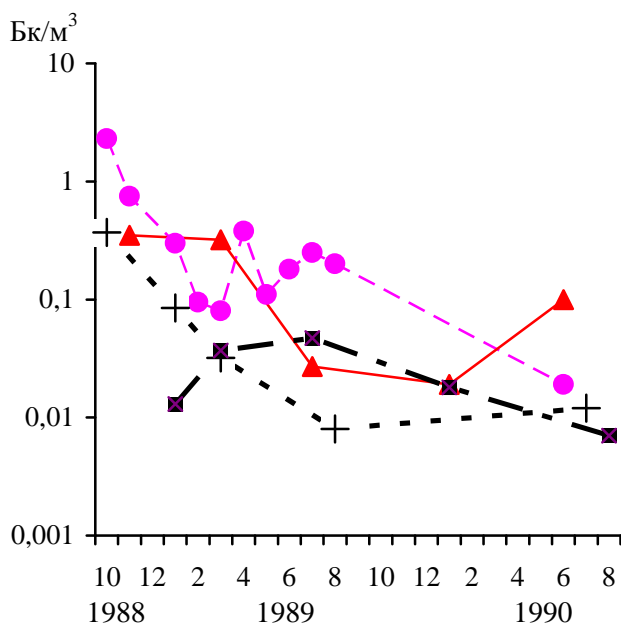


Рис. 5. Концентрация аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$  в южной (●), западной (+), северо-западной (▲) и северной (■) частях локальной зоны в 1988 – 1990 гг.

Для защиты от дождя и снега над установкой на высоте около 1,8 м был смонтирован козырек из железного листа. С боков установка имела ограждение из металлической сетки. После окончания пробоотбора фильтрующий материал доставляли в Чернобыль для проведения гамма-спектрометрического и радиохимического анализов.

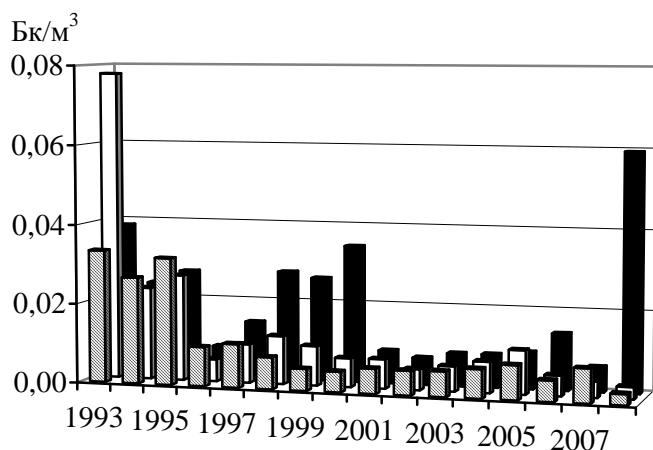


Рис. 6. Среднегодовые концентрации аэрозолей  $\Sigma\beta$ -излучающих нуклидов в районах северной (▨), северо-западной (□) и южной (■) установок в 1993 – 2008 гг.

Такая ситуация сохранялась и в 1989 - 1990 гг. На рис. 5 представлена концентрация аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$  при 5 - 7-суточных экспозициях фильтров на четырех установках локальной зоны [12].

После прекращения деятельности КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова мониторинг радиоактивных аэрозолей в локальной зоне продолжили специалисты отдела ядерной и радиационной безопасности МНТЦ «Укрытие» НАН Украины, созданного в 1992 г. Круглосуточную прокачку воздуха стали вести на трех аспирационных установках, размещенных в северной (АУ-1, ось 51, ряд П), северо-западной (АУ-2, ось 76, ряд П) и южной (АУ-3, ось 53, ряд П") частях локальной зоны (см. рис. 1). Как и прежде, использовали фильтрующий материал ФПП-15-1,5 площадью  $0,8 \text{ м}^2$ , который экспонировали полмесяца. Скорость продувки воздуха составляла  $400 - 500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Материал размещали на горизонтальном сетчатом барабане, ось которого находилась на высоте 1 м от земли.

Динамика среднегодовых концентраций аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов ( $\Sigma\beta$ ) в 1993 - 2008 гг. представлена на рис. 6. Поскольку к 1993 г. уже практически исчезли продукты Чернобыльской аварии с периодами полураспада менее 300 сут, в  $\Sigma\beta$  включены только  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Pu}$ .

Как видно на рис. 6, происходило систематическое уменьшение в воздухе бета-активных аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии. Наиболее резкий спад примерно в три раза произошел за период 1993 – 1995 гг. В последующие 13 лет в районах расположения АУ-1 и АУ-2 концентрации не превышали

0,01 Бк/м<sup>3</sup> и не опускались ниже 0,005 Бк/м<sup>3</sup>. Более сложная динамика наблюдалась в районе установки АУ-3. Здесь после спада в 1993 - 1995 гг. концентрации вновь увеличились в 1998 - 2000 гг. до 0,03 Бк/м<sup>3</sup>. Затем в 2001 г. они упали до 0,005 - 0,007 Бк/м<sup>3</sup> и оставались на этом уровне, характерном также для районов расположения установок АУ-1 и АУ-2, в течение семи лет. Однако в 2008 г. в районе АУ-3 произошел резкий подъем концентрации до 0,06 Бк/м<sup>3</sup>. Это величина оказалась максимальной за 15 предыдущих лет. Более высокая концентрация около 0,08 Бк/м<sup>3</sup>, как следует из рис. 6, имела только в 1993 г. в районе АУ-2. Однако ее следует рассматривать как артефакт, поскольку в весенне-летний период установка не работала и усреднение одной высокоактивной пробы, полученной в начале года, было выполнено по вдвое меньшему количеству отобранных проб, чем в последующие годы.

Детальная динамика концентраций аэрозолей-носителей <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am по результатам 15-суточных пробоотборов в 1993 - 2007 гг. представлена на рис. 7. На этом рисунке видно, что в целом концентрации <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am в местах расположения северной, северо-западной и южной установок очень близки. Однако при общей тенденции снижения концентраций иногда наблюдаются значительные (до двух порядков величины) различия в минимальных и максимальных значениях как одного, так и другого радиоизотопа, причем в последовательно отобранных пробах.

Хотя ядерно-физическое происхождение <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am различно: первый – продукт деления урана, второй возникает при бета-распаде наработанного в топливе <sup>241</sup>Pu (T<sub>1/2</sub> = 15,2 года), динамика их концентраций за период 1993 - 2007 гг. в воздухе локальной зоны практически одинаковая (см. рис. 7). Среди почти 900 проб преобладали концентрации <sup>241</sup>Am в диапазоне 0,01 - 0,1 мБк/м<sup>3</sup>. Минимальные концентрации обычно были не ниже 0,002 мБк/м<sup>3</sup>, максимальные лишь в нескольких случаях приближались к 1 мБк/м<sup>3</sup>.

Типичными причинами увеличения концентраций являются работы, проводимые в локальной зоне или вблизи нее. Так, 2 - 19 июля 2007 г. на АУ-1 была отобрана проба, в которой содержание <sup>137</sup>Cs равнялось 0,03 Бк/м<sup>3</sup>, а <sup>241</sup>Am – 0,4 мБк/м<sup>3</sup>. Это примерно в 10 раз выше, чем обычно. Ухудшение радиационной обстановки, очевидно, было связано с буровыми работами, проводившимися на каскадной стене объекта «Укрытие» [13].

В районе южной установки одна из наиболее высоких концентраций <sup>137</sup>Cs (0,06 Бк/м<sup>3</sup>) была зарегистрирована в период с 24 марта по 3 апреля 1998 г., когда здесь демонтировали и дезактивировали подъемный кран «Демаг» [14], с помощью которого в 1986 г. вели сооружение объекта «Укрытие».

Весной и летом 2000 г. концентрации <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am в районе АУ-3 выросли в несколько раз, что отчетливо видно на рис. 7. Это стало следствием подготовки площадки для строительства ХОЯТ-2 в двух километрах юго-восточнее объекта «Укрытие». Корчевка леса, скреперование грунта, рытье котлованов, погрузка и вывоз загрязненной радионуклидами почвы приводили к пылеподъему. В результате пылепереноса часть радиоактивных веществ поступала в район АУ-3.

В августе - сентябре 2006 г. вдоль южного забора локальной зоны прокладывали дорогу для доставки технических средств и автотранспорта к берме, которую предстояло частично ликвидировать с целью подготовки места для сооружения фундамента нового безопасного конфаймента. В этот период концентрации <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am в районе АУ-3 увеличивались в 10 раз (см. рис. 7). Максимальное содержание <sup>137</sup>Cs достигло 0,05 Бк/м<sup>3</sup> в пробе, отобранной с 7 по 22 августа.

В 2001 г. максимальное загрязнение воздуха было отмечено в районах размещения АУ-1 и АУ-2 при экспозиции фильтров с 22 января по 6 февраля. При этом концентрация аэрозолей <sup>137</sup>Cs достигала 12 – 16 мБк/м<sup>3</sup> и была максимальной за период 2000 – 2003 гг. При обсуждении причин, вызвавших рост содержания аэрозолей в локальной зоне, авторы работы [15] решили, что главной было интенсивное движение транспорта (это было зафиксировано нетрадиционным способом – по количеству раз выдач ключей от северных ворот локальной зоны) и усиление средней скорости ветра до 3 – 4 м/с, а при порывах – до 11 м/с.

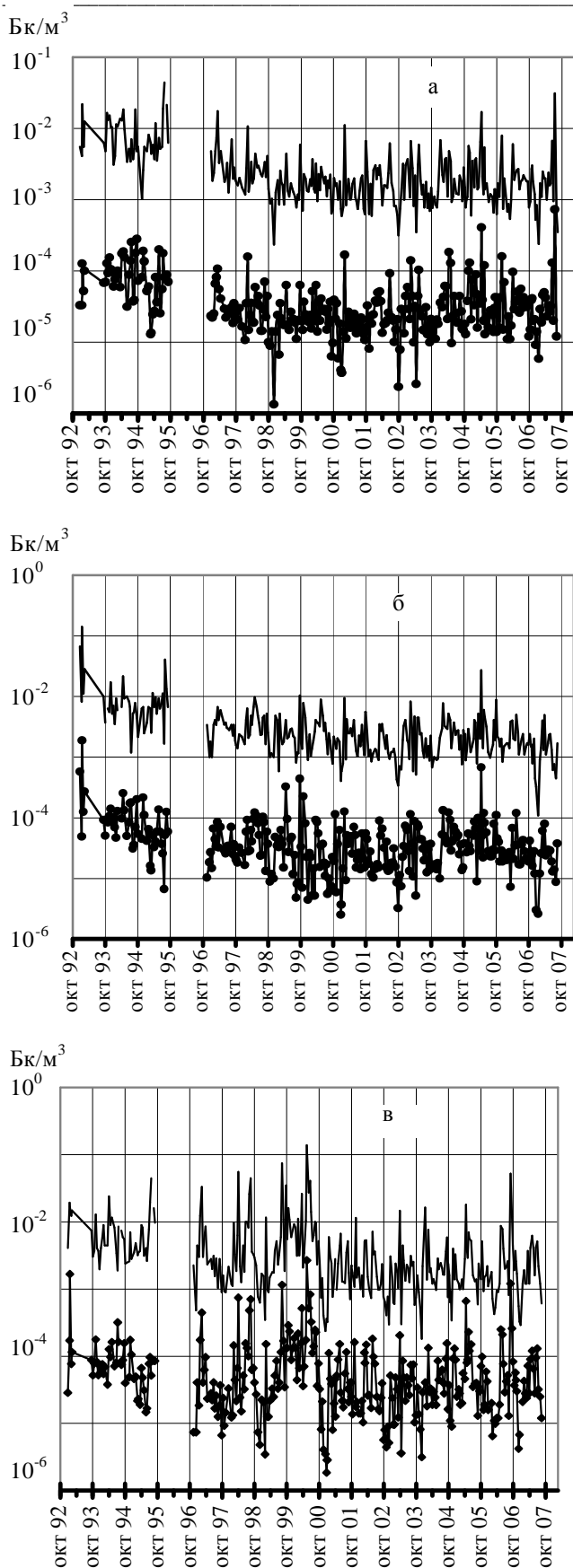


Рис. 7. Объемные активности аэрозолей-носителей  $^{137}\text{Cs}$  (—) и  $^{241}\text{Am}$  (—●—) по пробам 1992 – 2007 гг. с северной (а), северо-западной (б) и южной (в) установок в локальной зоне объекта «Укрытие».

В феврале и марте 2007 г. в районе размещения АУ-2 были зарегистрированы  $\Sigma\beta$  12 и 15 мБк/м<sup>3</sup>, что примерно в 10 раз выше, чем в среднем для проб этого года. Вероятнее всего, всплеск концентраций был связан с демонтажем защитной стены и площадки укрупненной сборки металлических ферм, использованных во время стабилизационного мероприятия № 2.

Помимо всплесков содержания радиоактивных веществ в воздухе локальной зоны на рис. 7 отчетливо проявляются и минимумы. Практически всегда они приходятся на холодный период года, например в 1995, 1998, 2000, 2002, 2003 и 2006 гг. Из этого можно сделать вывод, что в дождливый период, тем более при наличии снега, пылеподъем с подстилающих поверхностей снижался и, следовательно, уменьшалось количество радиоактивных аэрозолей в воздухе.

Интересные результаты, указывающие на происхождение радиоактивной пыли в локальной зоне объекта «Укрытие» и ее распространение, были получены в 2007 – 2008 гг. при ликвидации бермы. Сама берма появилась в 1986 г. при сооружении объекта «Укрытие» [16]. Сначала вдоль южной стены машинного зала по железнодорожной колее были доставлены бетонные блоки, послужившие основой для сооружения пионерной стены с целью защиты персонала от гамма-излучения из развала 4-го энергоблока. По мере дезактивации территории промплощадки и кровель второй очереди ЧАЭС пространство между пионерной стеной и южной стеной машинного зала заполняли радиоактивными отходами с МЭД 1–1000 Р/ч в контейнерах емкостью 1 м<sup>3</sup> и в виде сыпучих материалов. В отчете НИКИМТ [17] указано, что было уложено 1700 контейнеров. В сентябре 1986 г. этот своеобразный могильник был засыпан гравием и частично забетонирован, поскольку потребовалась площадка для крана «Деаг», которым вели монтаж кровли объекта «Укрытие». Тогда берма получила свои контуры: длина 112 м (в осях 36 - 60, см. рис. 1), ширина 30 м (в рядах

Г" - Л"), высота 12 м. К непосредственной ликвидации бермы приступили в марте 2007 г., когда с помощью фрезы начали резать бетонное покрытие в ее восточной части. Затем бетон разбивали механическим молотом. Куски бетона и гравия сгребали бульдозером к экскаватору, грузили на самосвалы и вывозили. Постепенно работы продвигались в западном направлении, захватывая берму по ширине и по высоте примерно на 10 м.

При выполнении этих работ контроль аэрозольной радиационной обстановки осуществляли специалисты ЦРБ ЧАЭС. С первой декады января 2007 г. пять раз в неделю (понедельник - пятница) они отбирали пробы на фильтры АФА РСР-20 в зоне проведения работ по ликвидации бермы, на границе этой зоны у юго-западного угла машинного зала (ось 68, ряд А), в защитном боксе – месте отдыха бригады, в прорабской и санитарном шлюзе. В каждой точке в первой половине дня переносными установками Н810 прокачивали в течение около 30 мин  $5 \text{ м}^3$  воздуха на высоте 1 м. Активность проб по альфа- и бета-излучателям измеряли на радиометре КРК-1. Результаты, полученные в январе - апреле 2007 г., приведены на рис. 8.

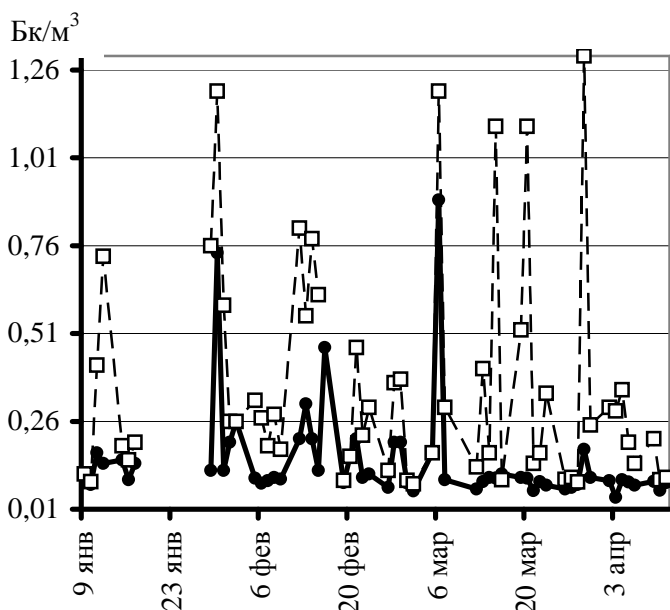


Рис. 8. Объемная активность аэрозолей-носителей  $\Sigma\beta$ -излучающих нуклидов в зоне проведения работ по ликвидации бермы (□) и на границе зоны у юго-западного угла машинного зала (●) в январе - апреле 2007 г.

Как следует из рис. 8, на границе зоны (~300 м на запад от места проведения работ) наблюдались достаточно стабильные концентрации со средним значением  $\Sigma\beta$  около  $0,1 \text{ Бк/м}^3$ . Лишь в трех из 58 проб концентрации превысили средний уровень примерно в 10 раз, достигнув  $0,5 - 0,9 \text{ Бк/м}^3$ . Резкие колебания концентраций аэрозолей происходили в зоне проведения работ. Здесь только 30 % проб имели  $\Sigma\beta$  около  $0,1 \text{ Бк/м}^3$ . В остальных  $\Sigma\beta$  была выше, причем в 20 % достигала  $0,6 - 1,3 \text{ Бк/м}^3$ . Из этого следует, что работы по ликвидации бермы служили непосредственным источником радиоактивных аэрозолей. Однако за три месяца наблюдений  $\Sigma\beta$  ни разу не превысила контрольной концентрации  $8,9 \text{ Бк/м}^3$ , установленной для локальной зоны объекта «Укрытие».

На рис. 8 видно, что в двух случаях (30 января и 6 марта) высокие концентрации радиоактивных аэрозолей были одновременно зарегистрированы в зоне проведения работ и на границе этой зоны у угла машинного зала. Из данных метеостанции «Чернобыль» следовало, что в обоих случаях земля была закрыта снегом, глубина которого 30 января равнялась 17 см и 6 марта – 9 см. Скорости ветра оба дня были невысокие: средняя 2 м/с при максимальных порывах 5 м/с. Таким образом, снежный покров и умеренный ветер гарантировали отсутствие пылеподъема под воздействием природных факторов. Повышенные концентрации аэрозолей на углу машинного зала стали следствием переноса пыли из зоны проведения работ ветрами южной четверти ( $180 - 220^\circ$ ), которые наблюдались оба дня.

Динамика концентраций  $\Sigma\beta$  в районе расположения АУ-3 за весь период ликвидации бермы представлена на рис. 9. Полученные пробы позволяли надежно отслеживать аэрозольную радиационную обстановку, поскольку установка располагалась примерно на равных расстояниях от западного и восточного концов бермы и в 10 м от ее южного края.

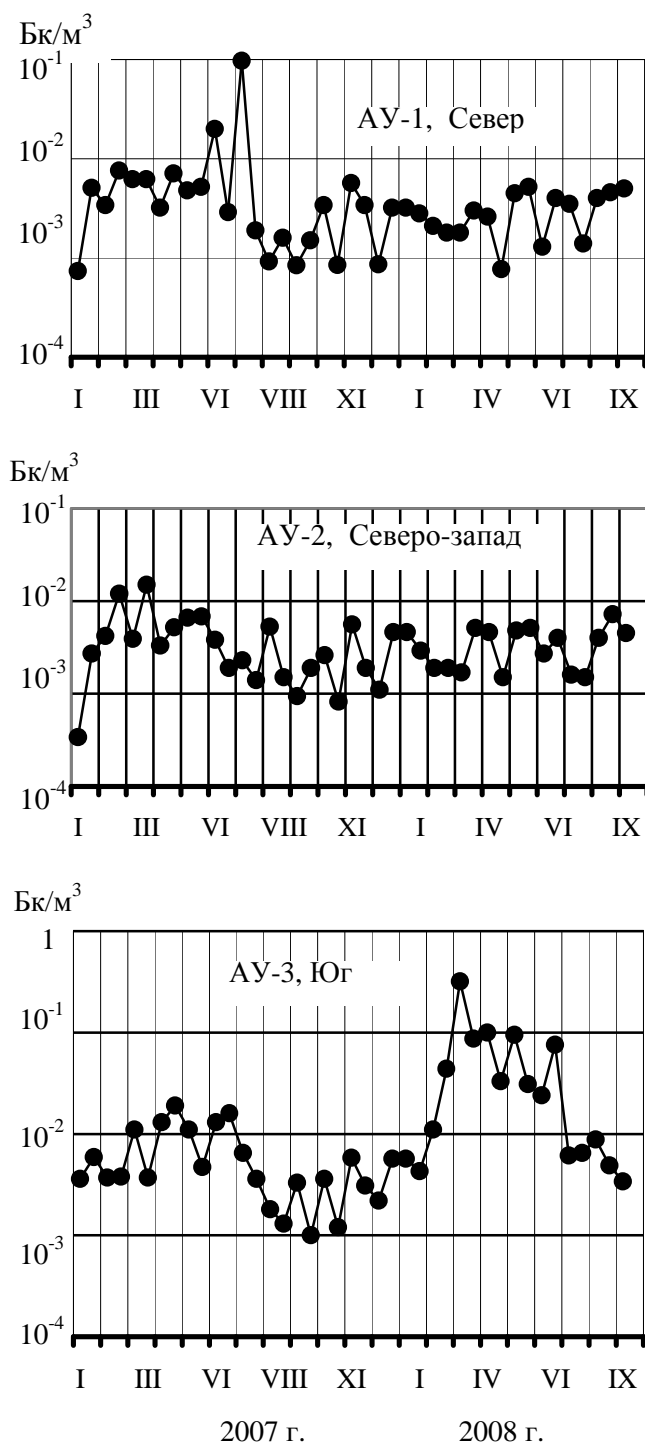


Рис. 9. Концентрации аэрозолей-носителей бета-излучающих нуклидов в районах расположения АУ-1 – АУ-3 в 2007 - 2008 гг.

Из рис. 7 видно, что как по абсолютным значениям, так и по временной динамике концентрации аэрозолей на всех трех фильтровальных установках практически идентичны. Поскольку фильтрующие материалы на них экспонировали одинаковое время и одновременно заменяли, то были рассчитаны средние концентрации <sup>137</sup>Cs в локальной зоне объекта «Укрытие» в 1993 - 2007 гг. (рис. 10).

Из аппроксимирующих кривых на рис. 10 следует, что за семь лет с декабря 1992 г. концентрация аэрозолей <sup>137</sup>Cs снизилась примерно в пять раз. Это намного превосходит

Как видно на рис. 9, до февраля 2008 г. значения Σβ на АУ-3 колебались около 0,003 - 0,005 Бк/м<sup>3</sup> и практически не отличались от того, что наблюдалось с конца 2000 г. (см. рис. 7). Увеличение концентрации в два раза было зарегистрировано при отборе пробы с 30 января по 11 февраля 2008 г. При следующем пробоотборе она возросла еще в четыре раза. Максимальный уровень 0,3 Бк/м<sup>3</sup> оказался в пробе, отобранной с 28 февраля по 14 марта. Это значение примерно в 100 раз превышало величину, наблюдавшуюся с момента начала ликвидации бермы. В апреле - июне концентрации Σβ снизились до 0,03 - 0,1 Бк/м<sup>3</sup>, но по-прежнему были на порядок величины выше «обычного» уровня. После завершения работ на берме в июне 2008 г. аэрозольная обстановка в июле - сентябре стабилизировалась на уровне концентраций 2007 г.

На рис. 9 видно, что ухудшение аэрозольной радиационной обстановки, произошедшее в феврале - июне 2008 г. в районе АУ-3, имело сугубо локальный характер, поскольку в районах расположения АУ-1 и АУ-2 величины оставались стабильно низкими. Причина всплеска концентраций радиоактивных аэрозолей в районе АУ-3 связана с тем, что в этот период происходила дезинтеграция и перемещение гравия и бетона, загрязненных радиоактивными отходами, захороненными в западной части бермы еще в 1986 г. Из-за обнаружения высокоактивных фрагментов в феврале - мае 2008 г. работы на берме неоднократно приостанавливали, оконтуривали «пятна» с высокими уровням МЭД и вывозили «грязные» материалы на специальный пункт захоронения. Всего было вывезено около 30 тыс. м<sup>3</sup> дезинтегрированных материалов.



убыль за счет радиоактивного распада, поскольку  $^{137}\text{Cs}$  имеет  $T_{1/2} = 30,2$  года. Причина резкого (особенно в первые годы после аварии), а затем замедленного уменьшения содержания в воздухе локальной зоны аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$ , как и других долгоживущих радионуклидов, в частности изотопов плутония [18, 19], связана с природно-техногенными факторами: заглублением продуктов аварии в почву, дезактивацией территории промплощадки, ее озеленением, проведением пылеподавления при строительных и монтажных работах и др.

В то же время более быстрое, чем по расчету для  $T_{1/2} = 30,2$  года, уменьшение содержания количества  $^{137}\text{Cs}$  в воздухе (см. рис. 10) свидетельствует, что вклад выбросов из объекта «Укрытие» в аэрозольную обстановку в локальной зоне незначительный.

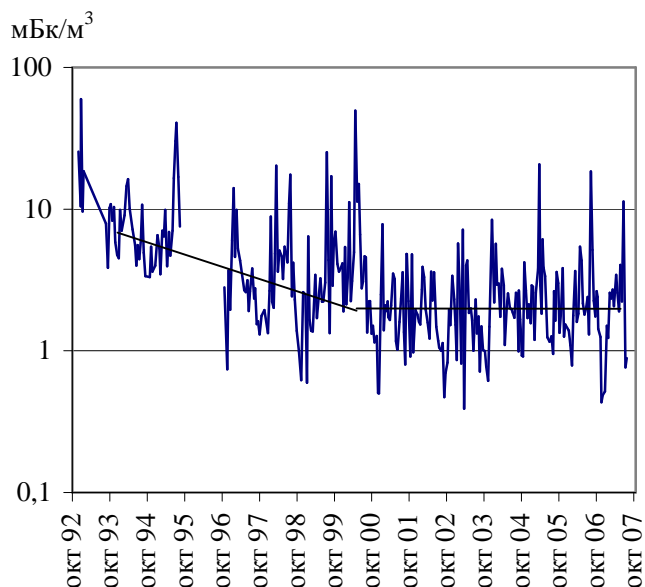


Рис. 10. Средняя объемная активность аэрозолей-носителей  $^{137}\text{Cs}$  по пробам, полученным в локальной зоне на АУ-1 - АУ-3 в 1993 - 2007 гг.

помимо вытяжной трубы поступали во внешнюю среду также через щели и проемы строительных конструкций объекта «Укрытие». В результате в локальной зоне концентрация радиоактивных веществ значительно повысилась. Это было зарегистрировано с помощью фильтров, работавших на северной и северо-западной установках. Фактическая концентрация в районе АУ-2 во время пожара превосходила обычно наблюдаемую примерно в 30 раз. В районе южной установки повышения концентрации радиоактивных аэрозолей не отмечено. Таким образом, при пожаре распространение аэрозолей из объекта «Укрытие» имело векторный характер и определялось направлением ветра на промплощадке.

Подтверждением того, что выбросы радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие», в частности через трубу ВТ-2, сказываются на радиационной обстановке локальной зоны и ближайших районов вокруг ЧАЭС, является неоднократное обнаружение в 1998 - 2000 гг. в фильтрах с АУ-1 - АУ-3 коррозионных аэрозолей с наведенной активностью ( $^{24}\text{Na}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ), аэрозолей  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ , а также  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  и др. Безусловно, эти продукты принадлежали действовавшему в то время 3-му энергоблоку, но пути их поступления в приземный слой атмосферы были аналогичны (через ВТ-2) с выбросами из объекта «Укрытие» [24, 25]. Следует подчеркнуть, что использование сорбционно-фильтрующих материалов Петрянова [26] позволило кроме аэрозольных компонентов  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$  фиксировать еще их газообразные соединения [27]. Это свидетельствует, что даже невесомые примеси, а не только крупные частицы микронных размеров, могут оседать вблизи объекта «Укрытие».

Противоречивые мнения относительно того, сказываются или нет выбросы из объекта «Укрытие» на концентрации радиоактивных аэрозолей в локальной зоне, можно примирить,

К такому же заключению приходят авторы публикаций [20, 21]. Они считают, что работы в помещениях объекта «Укрытие» и выбросы из него радиоактивных аэрозолей как через проемы в стенах и крыше, так и через вентиляционную трубу ВТ-2 мало влияют на состав и концентрации аэрозольных веществ в локальной зоне объекта.

В то же время факты свидетельствуют, что выбросы из объекта «Укрытие» детектируются в локальной зоне. Убедительной иллюстрацией этого стал пожар 14 января 1993 г. в помещении 805/3 объекта «Укрытие» [14, 22, 23]. Непосредственно в часы пожара средняя объемная активность аэрозолей, поступавших через «Байпас» в вентиляционную трубу ВТ-2, возросла по сравнению с наблюдавшейся до и после пожара примерно в 50 раз [18, 22]. Несомненно, что радиоактивные аэрозоли

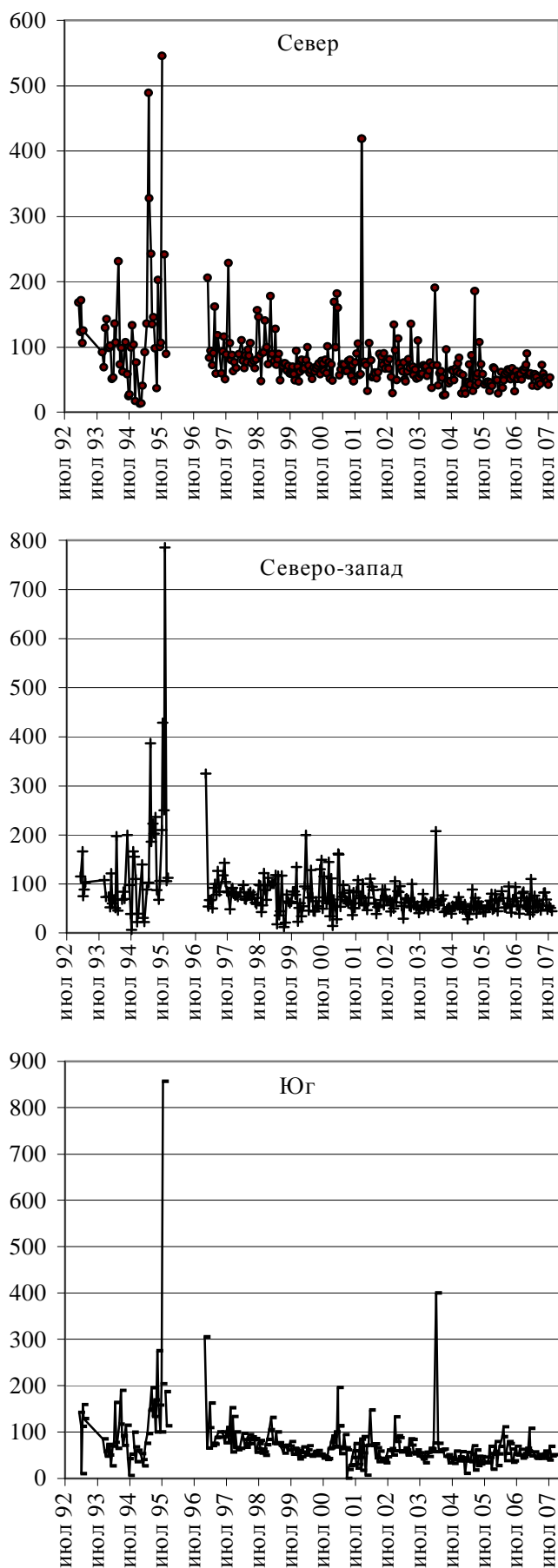


Рис. 11. Соотношения концентраций  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  в аэрозолях в северной, северо-западной и южной частях локальной зоны в 1993 – 2007 гг.

если говорить о доле веществ, достигающих интересующей точки и вносящих вклад в существующую обстановку.

Ясно, что она варьирует, поскольку выбросы могут происходить в разных местах, при разных метеоусловиях, может меняться размер частиц и т.д.

Для идентификации радиоактивных аэрозолей и определения источников их генерации важное значение имеет соотношение радионуклидов. На рис. 11 представлены отношения концентраций аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  для проб с каждой из трех фильтровальных установок за 1993 – 2007 гг. Как правило, отношения  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  находились в диапазоне 50 - 70. Эти величины характерны для ядерного топлива с выгоранием 11 Вт · сут/кг урана [28], выброшенного при взрыве реактора. Таким образом, радиоаэрозольная обстановка в локальной зоне определяется топливными частицами. Именно они выпали у стен 4-го энергоблока и на промплощадке при аварии 26 апреля 1986 г.

На рис. 11 имеются несколько пиков. Высокие отношения  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  (100 - 200) на протяжении почти всего 2000 г., наблюдавшиеся преимущественно в районе АУ-2, очевидно, связаны с земляными и монтажными работами на «Малой стройбазе», расположенной всего в 300 м на северо-запад от установки. Оттуда могли поступать так называемые конденсационные аэрозоли, обогащенные радиоцезием. На величину отношения  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  могли влиять неточности измерения проб. Так, в декабре 2000 г. и январе 2001 г. в связи со снежным покровом концентрации радиоактивных веществ были самые низкие за период 1993 - 2007 гг. (см. рис. 7), что отразилось на результатах гамма-спектрометрии и расчетах количеств радионуклидов.

Во второй половине 2002 г. в локальной зоне были дополнительно размещены (см. рис. 1) четыре установки «Grad», которые обслуживали специа-

листы ИАБ УААН [29]. Отбор проб проводили с 16 августа до 5 декабря с синхронной сменой фильтров через 2 – 5 сут. Эти установки располагались рядом с регламентными аспирационными установками. Диапазон минимальных и максимальных концентраций аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$ , зарегистрированных с помощью установок «Grad», составлял два порядка величины. Наиболее высокие концентрации (2 - 3 мБк/м<sup>3</sup>) оказались в южной части локальной зоны. Результаты, полученные с помощью установок «Grad», практически совпали с теми, которые были зарегистрированы с помощью регламентных аспирационных установок, как по величине концентраций  $^{137}\text{Cs}$ , так и по их временной динамике.

Авторы благодарят сотрудников группы «Ареал» отделения ядерной и радиационной безопасности ИПБ НАН Украины за отбор и препарирование аэрозольных проб из локальной зоны объекта «Укрытие».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов Н.Б., Огородников Б.И., Качанова Н.И. и др.* Наблюдения за газоаэрозольными компонентами радиойода и радиорутения в первые недели после аварии на ЧАЭС // Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроль качества продукции. – М.: НИИТЭХИМ, 1992. – Вып. 1. – С. 17 - 24.
2. *Басманов П.И., Иванов Ю.Н., Огородников Б.И. и др.* Испытание систем очистки воздуха от радиоактивных аэрозолей на машинах ИМР-2Д и БТР-70Д // Там же. – С. 32 - 36.
3. *Римский-Корсаков А.А. и др.* Исследование выброса аварийного реактора IV блока ЧАЭС: (Отчет) / Радиевый ин-т им. В. Г. Хлопина. - Инв. № 14396. - Л., 1986.
4. *Бадьин В.И., Будыка А.К., Огородников Б.И., Скитович В.И.* Характеристики радиоактивных аэрозолей в производственных помещениях III блока ЧАЭС // Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроль качества продукции. – М.: НИИТЭХИМ. 1992. - Вып. 3. - С. 21 - 26.
5. *Пирожков Г.Л.* Испытания средств защиты органов дыхания на Чернобыльской АЭС // Чернобыль. Долг и мужество / Под ред. А. А. Дьяченко. - М.: 4-й филиал Воениздата, 2001. - Т. 1. - С. 92 - 97
6. *Борисов В.С., Васильев К.Г., Колчин В.В. и др.* Проведение радиационного мониторинга активной зоны четвертого энергоблока // Москва - Чернобылю. - М.: Воениздат, 1998. - Кн. 1. - С. 116 - 123.
7. *Балута В.И.* Эпизоды ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС // Там же. - С. 99 - 111.
8. *Belovodsky L.E., Panfilov A.P.* Ensuring radiation safety during construction of the facility "Ukrytie" and restoration of unit 3 of the Chernobyl nuclear power station // One decade after Chernobyl: Summing up the consequences of the accident. Poster presentation. – (International conf., Vienna: 8 - 12 Apr. 1996). – Vienna. IAEA, 1997. – Vol. 2. – P. 574 - 590.
9. *Шегай Е.Д., Бакин Р.И., Иванов Ю.П. и др.* Состояние природных сред в окрестностях ПЗРО // Чернобыль–88. Докл. I Всесоюз. науч.-технич. совещ. по итогам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. – Чернобыль, 1989. – Т. 6. – С. 276 – 279.
10. *Комаров В.И.* Контрольные концентрации радионуклидов в воздухе 30-км зоны // Там же. – Т. 5, ч. 1. – С. 122 – 126.
11. *О проведении совместных научно-исследовательских работ сотрудников газо-аэрозольной группы ПКНТБ-9 Радиевого института им. В. Г. Хлопина и НИО КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова в октябре 1988 г.: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 0791. - Чернобыль, 1988.*
12. *Состав и концентрации радионуклидов в аэрозолях промплощадки Чернобыльской АЭС вблизи объекта «Укрытие» в 1990 г.: (Отчет) / РИ им. В. Г. Хлопина. - Инв. № 1469-И. - Л., 1990. (Фонды МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 1856.)*
13. *Контроль неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие»: (Отчет по договору 249/07) / ИПБ АЭС НАН Украины. № ГР 0107U008198. – Чернобыль, 2007. – 80 с.*
14. *Огородников Б.И.* Происхождение и компоненты радиоактивных аэрозолей на промплощадке объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. - 2002. - Т. 93, № 5. - С. 375 - 383.
15. *Боровой А.А., Павлюченко Н.И., Дубенко П.Н. и др.* Мониторинг неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 10, ч. 2. - С. 192 - 198.

16. Немчинов Ю.И., Кривошеев П.И., Сидоренко М.В. и др. От укрытия до конфаймента четвертого блока Чернобыльской АЭС. Строительные аспекты / Под. ред. П. И. Кривошеева и др. – К.: Логос, 2006. – 463 с.
17. *Определение* экологической опасности РАО, локализованных на территории объекта «Укрытие» и прилегающей территории, при разработке технических мероприятий по их удалению: (Отчет) / НИКИМТ. - М., 1994.
18. *Огородников Б.И., Павлюченко Н.И., Пазухин Э.М.* Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 2.1. Концентрации радиоактивных аэрозолей внутри объекта «Укрытие». - Чернобыль, 2003. - 64 с. - (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 03-1).
19. *Огородников Б.И., Пазухин Э.М.* Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 4.1. Источники и генерация радиоактивных аэрозолей в 1986 г. - Чернобыль, 2005. - 32 с. - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 05-2).
20. *О результатах* исследования радиоактивных проб воздуха на промплощадке и в рабочих помещениях 4-го блока ЧАЭС за вторую половину июля 1988 г.: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 818. - Чернобыль, 1988.
21. *Состав* и концентрации радионуклидов в аэрозолях промплощадки Чернобыльской АЭС вблизи объекта «Укрытие» в 1990 г.: (Отчет) / РИ им. В. Г. Хлопина. - Инв. № 1469-И. - Л., 1990. (Фонды МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 1856.)
22. *Евстратенко А.С.* Результаты работ, проведенных в отделе радиационного мониторинга ОЯРБ МНТЦ «Укрытие» в 1993 г.: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 09-13/38. - Чернобыль, 1993. - 204 с.
23. *Анализ* текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. – Инв. № 3836. - Чернобыль, 2001.
24. *Герасько В.Н., Ключников А.А., Корнеев А.А. и др.* Объект «Укрытие». История, состояние и перспективы. – К.: Интерграфик, 1997. – 224 с.
25. *Отчет* о состоянии радиационной безопасности и охране окружающей природной среды ПО ЧАЭС в 1994 г. - Славутич, 1995.
26. *Борисов Н.Б.* Новые сорбционно-фильтрующие материалы для анализа аэрозолей и паров // *Изотопы в СССР*. - М.: Атомиздат, 1978. - № 52/53. - С. 66 -67.
27. *Борисов Н.Б., Басманов П.И., Чуркин С.Л.* Исследование радионуклидов в выбросах ЧАЭС и в воздухе ближней зоны в период пуска III блока ЧАЭС // *Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроль качества продукции*. - 1992. - Вып. 3. - С. 26 - 29.
28. *Бегичев С.Н., Боровой А.А., Строганов А.А. и др.* Топливо реактора 4-го блока ЧАЭС (краткий справочник). – М., 1990. – 21 с. – (Препр. / Ин-т атомной энергии им. И. В. Курчатова; ИАЭ 5268/3).
29. *Мониторинг* приземного слоя атмосферы на промплощадке объекта «Укрытие»: (Отчет) / ИАБ УААН. – Т. 1- 3. – К., 2002.

Поступила в редакцию 29.09.08

**РАДИОНУКЛИДНИЙ МОНИТОРИНГ АЕРОЗОЛІВ У ЛОКАЛЬНІЙ ЗОНІ  
ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ» ЧАЕС (ОГЛЯД)****Б. І. Огородников, В. Є. Хан, В. О. Краснов, М. І. Звеницький**

Представлено концентрації радіоактивних аерозолів-продуктів аварії 4-го енергоблока ЧАЕС поблизу об'єкта «Укриття». У 1986 – 2008 рр. забрудненість повітря систематично знижувалася. За допомогою проб, що відбираються цілодобово трьома установками, розміщеними на відстанях 300 – 400 м від центру об'єкта «Укриття», показано, що вміст аерозолів істотно залежить від виду робіт і пилопідйому поблизу установок. У 2000 - 2008 рр. концентрація аерозолів-носіїв  $^{137}\text{Cs}$  стабілізувалася в локальній зоні на рівні 3 мБк/м<sup>3</sup>. Відношення концентрацій  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  за період 1993 – 2007 рр. знаходилося в діапазоні 50 - 70 і близько до розрахункової величини вигорання ядерного палива 11 МВт·доба/кг урану.

**RADIONUCLIDE AEROSOL MONITORING INTO LOCAL ZONE  
OF THE “UKRYTTYA” OBJECT OF THE CHERNOBYL NPP****B. I. Ogorodnikov, V. E. Khan, V. A. Krasnov, M. I. Zvenitskiy**

Concentrations of radioactive aerosols-products of block-4 accident of the ChNPP near the “Ukryttya” object are presented. During 1986 - 2008 air pollution sistematicaly was decreased. Aerosols sampled all day and night by means of three aspiration installations are placed at distance 300 – 400 m from centre of the “Ukryttya” object. It is shown, that aerosol concentration depends from character of work and dustlifting around aspiration installations. During 2000 - 2008 aerosol concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in the local zone was constant about 3 mBq/m<sup>3</sup>. During 1993 - 2007 the relations of  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  aerosol concentrations were in range 50 - 70. That corresponds to calculated quantity of nuclear fuel burnup 11 MWt-day/kg U.