

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОВНЯ АКТИВНОСТИ АЭРОЗОЛЕЙ В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ОБЪЕКТА "УКРЫТИЕ"

Б. И. Огородников, А. Д. Скорбун

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

На основе анализа результатов долговременных наблюдений методом нормированного размаха Херста обсуждается происхождение и возможность прогноза уровня концентрации радиоактивных аэрозолей в вентиляционной системе объекта «Укрытие». Проанализированы данные о концентрации ^{137}Cs , ^{241}Am , β -излучающих нуклидов и дочерних продуктов распада радона и торона (ДПР) за период около трех лет. Показано, что колебания концентрации аэрозолей ДПР достаточно хорошо описываются законом Херста ($H \sim 0,5$), в то время как временные изменения остальных нуклидов этой закономерности не обнаруживают, что может указывать на проявление влияния процессов технической деятельности (строительных и других работ). Различия связываются с тем, что ДПР эмануруются из бетона строительных конструкций, в то время как ^{137}Cs , ^{241}Am и β -излучающие нуклиды связаны с мелкодисперсными частицами топлива, которые поднимаются в воздух при внешних воздействиях.

Введение

Концентрации радиоактивных аэрозолей, выбрасываемых в атмосферу из разрушенных помещений 4-го блока ЧАЭС (объект "Укрытие") через вентиляционную трубу ВТ-2 имеют весьма значительные колебания [1]. Возникает вопрос, можно ли спрогнозировать максимальные уровни концентрации?

В настоящей работе предпринята попытка ответить на этот вопрос путем применения для анализа долговременного ряда данных о концентрации аэрозолей метода нормированного размаха Херста [2]. Метод был разработан для прогнозирования уровня воды в реках и водоемах, высоты морских волн и др. Было показано, что отношение размаха (разности между минимальным и максимальным значениями отклонений) временного ряда к стандартному отклонению для многих природных систем является степенной функцией времени. Иными словами, метод (в случае его применимости) позволяет прогнозировать максимальные значения измеряемой величины.

Метод нормированного размаха (R/S анализ). Воспользуемся описанием метода Херста, приведенным в [2]. Пусть a_i – элементы временного ряда, n – число его элементов. Последовательно увеличивая число членов выборки $\tau = 1, 2, \dots, n$, начиная с первого элемента, подсчитывается ряд накопленного отклонения от среднего значения

$X(n, \tau) = \sum_{i=1}^{\tau} (a_i - \langle a \rangle_n)$, $\langle a \rangle_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$, размах (разность между максимальным и минимальным членами ряда) $R(\tau) = \max X(n, \tau) - \min X(n, \tau)$ и стандартное отклонение

$$S(\tau) = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} [(a_i - \langle a \rangle_{\tau})^2]^{1/2}.$$

Ожидается, что

$$R(\tau)/S(\tau) = (b\tau)^H. \quad (1)$$

Показатель степени H носит название коэффициента Херста и для независимого случайного процесса равен 0,5, а $b = \pi/2$ [3]. Этот результат получен в предположении, что анализируемые отклонения от среднего подчиняются закону Гаусса, в основе которого лежит предположение о наличии множества факторов, обуславливающих эти отклонения. Таким образом, ожидается, что нормированная величина размаха значений ряда возрастает со временем по степенному закону.

Место отбора проб аэрозолей. Как известно [4, 5], объект "Укрытие" не является герметичным сооружением. Выброс аэрозолей происходит не только через трубу ВТ-2, но и неплотности (щели, проемы, технологические люки) внешних конструкций объекта [6]. Проконтролировать воздушные потоки и концентрации аэрозолей в многочисленных неплотностях чрезвычайно сложно. В связи с этим основной точкой мониторинга считается "Байпас" – вентиляционный канал, соединяющий разрушенный центральный зал 4-го энергоблока с трубой ВТ-2. Поскольку центральный зал – самое большое помещение 4-го блока, причем расположенное в его верхней части, то в нем собираются воздушные потоки из нижних и боковых помещений. В развале центрального зала находится большое количество обрушившихся конструкций, а также материалов засыпки с вертолетов в 1986 г. Они являются мощным источником генерации аэрозолей.

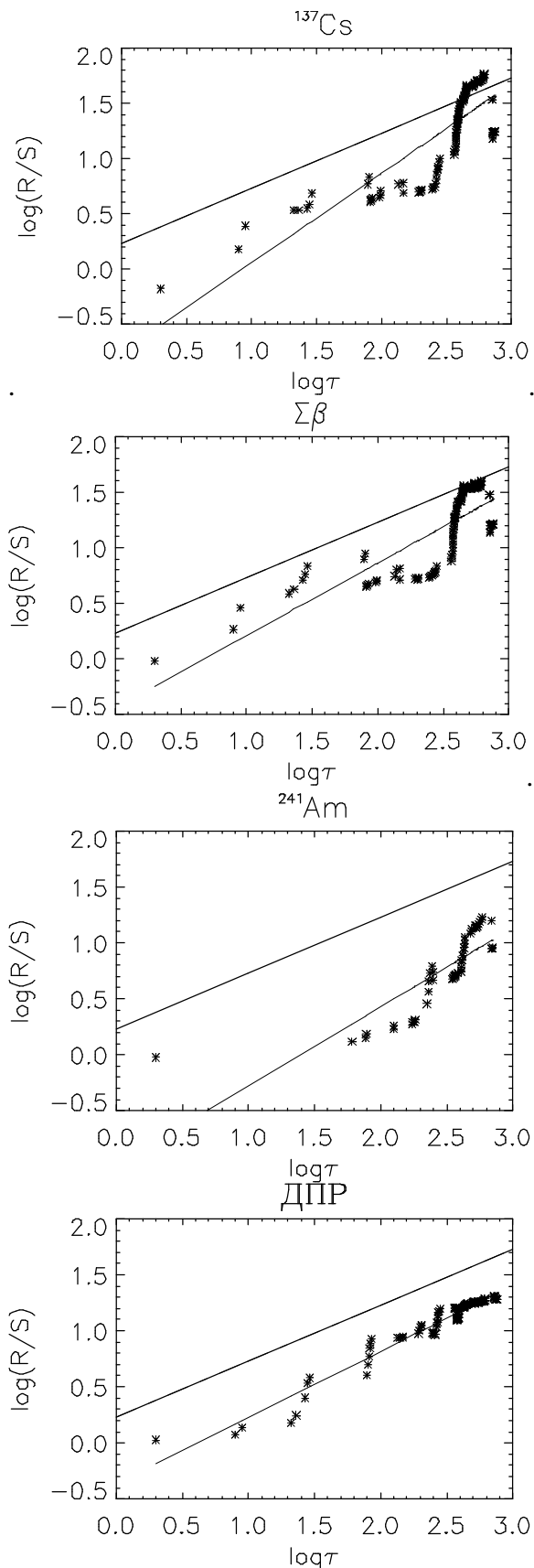
Вентиляционная система "Байпас" была обустроена осенью 1986 г. перед сдачей объекта "Укрытие" в эксплуатацию. Для этого в стене центрального зала направленным взрывом проделали овальное отверстие площадью около 3 м^2 . От него проложен металлический короб сечением 2 м^2 и длиной 35 м. Далее воздух через вертикальный цилиндрический коллектор диаметром 1,4 м и длиной 3,5 м направляется в приемный коллектор (помещение 4004/1), где смешивается с вентиляционными потоками 3-го энергоблока и поступает в ВТ-2.

Методики отбора проб и аэрозолей. В 2003 - 2005 гг. пробы аэрозолей были отобраны на пакеты многослойных фильтров Петрянова с помощью переносной воздуходувки, которую размещали на верхнем срезе "Байпаса" в помещении 4004/1. Через фильтры площадью 20 см^2 воздух прокачивали со скоростью около 100 л/мин в течение 1 - 2 ч. Для обеспечения изокINETичности отбора аэрозолей перед пакетом фильтров располагалась конусная насадка длиной 14 см с входным отверстием площадью $5,6 \text{ см}^2$. Она была направлена навстречу вентиляционному потоку, скорость которого составляла 3 – 5 м/с.

Через 15 – 20 мин после окончания прокачки воздуха пакет фильтров разделяли на три исходных фильтрующих слоя и начинали измерять их β -активность радиометром КРК-1. Продолжительность замера 100 с. Смена фильтров происходила последовательно через каждые 120 с. Таким образом, для каждого слоя получали кривую спада активности на протяжении 1 – 1,5 ч. Это позволяло при повторном измерении фильтров через 4 – 5 сут определить β -активность как долгоживущих ($\Sigma\beta$), так и короткоживущих нуклидов. Дальнейшую идентификацию радионуклидного состава выполняли на сцинтилляционном и полупроводниковом спектрометрах. Концентрации ^{137}Cs , ^{241}Am и $\Sigma\beta$ -излучающих нуклидов представлены в публикации [7].

Обсуждение результатов

На рисунке приведены зависимости R/S для данных за 2003 – 2005 гг. Жирной линией показана теоретическая зависимость согласно уравнению (1) с $b = \pi/2$. Тонкая линия – аппроксимация экспериментальной зависимости линейным законом по методу наименьших квадратов. Обращает на себя внимание практически идентичное поведение концентраций для $\Sigma\beta$, ^{137}Cs и ^{241}Am . Это показывает, что аэрозоли - носители этих радиоактивных веществ - возникают из одного источника. Кроме того, следует отметить синхронное увеличение $\log(R/S)$ при $\log t$ около 2,4 и 2,6. Вероятнее всего, это связано с техногенной деятельностью внутри объекта "Укрытие", в частности с проведением работ по пылеподавлению путем распыления при высоком давлении полимерных растворов через форсунки, расположенные под кровлей объекта "Укрытие", а также мероприятиями по укреплению (стабилизации) строительных конструкций. Эти техногенные процессы нельзя отнести к разряду мелких случайных факторов, они происходят редко, но вклад их в генерацию аэрозолей может явиться определяющим.



Зависимости R/S как функции τ в логарифмическом масштабе для ^{137}Cs , $\Sigma\beta$, ^{241}Am и дочерних продуктов распада радона и торона (ДПР).

Легко заметить, что расположение точек на графике для концентрации ДПР существенно отличается от графиков для радиоактивных веществ – носителей $\Sigma\beta$, ^{137}Cs и ^{241}Am , особенно в области $\log\tau \approx 1,9$ и $\log\tau > 2,6$. Причина этого заключается в том, что аэрозоли дочерних продуктов радона и торона образуются при радиоактивном распаде материнских газов, которые эмануруют из огромной массы бетона и других строительных материалов, заключенных в объекте "Укрытие". Таким образом, источники возникновения аэрозолей – продуктов Чернобыльской аварии и ДПР совершенно различные. Кратковременные (около месяца) увеличения концентраций аэрозолей ДПР могут быть связаны с сезонными колебаниями эманирования материнских благородных газов.

Обнаруженное поведение концентрации аэрозолей весьма отличается от такового для анализируемых в литературе временных рядов, будь то природные явления [2] или анализ финансовых рынков (см., например, [8]), где всегда обнаруживается линейная зависимость и обсуждается, как правило, величина показателя Херста H . В нашем случае более-менее удовлетворяет ожидавшемуся поведение дочерних продуктов радона и торона. За исключением того, что точки лежат ниже теоретической кривой, наклон прямой близок к $H = 0,5$, т.е. изменение концентраций этих величин является случайным процессом. Такое поведение менее хаотично, чем обнаруженное для радона в [9] с $H < 0,5$. Наблюдаемое в нашем случае $H \approx 0,5$ свидетельствует об отсутствии долговременных зависимостей в изменении концентрации ДПР со временем и о меньшей зависимости этой величины от внешних условий.

Что касается временных колебаний концентраций аэрозолей с продуктами аварии ($\Sigma\beta$, ^{137}Cs и ^{241}Am), то их поведение явно не описывается законом Херста (1). Если до 2005 г. еще можно усмотреть некую тенденцию роста с $H \leq 0,5$, то приблизительно с началом работ по стабилизации поведение становится непредсказуемым.

Таким образом, можно констатировать, что в отсутствие крупномасштабных

работ внутри объекта "Укрытие" максимальные значения концентрации аэрозолей легко прогнозируются по наклону прямых, проведенных через имеющиеся данные. Но если для ДПР, пользуясь приведенным графиком, это можно сделать с высокой долей уверенности, то возможности прогноза концентраций $\Sigma\beta$, ^{137}Cs и ^{241}Am будут зависеть от масштабов производственной деятельности, а самое главное - от регулярности проведения таких работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Огородников Б. И., Павлюченко Н. И., Хан В. Е.-И., Краснов В. А.* Связь концентраций радиоактивных аэрозолей в "Байпасе" объекта "Укрытие" с погодными условиями // Проблемы Чернобиля. - 2004. – Вип. 15. – С. 14 – 23.
2. *Феддер Е.* Фракталы. – М.: Мир. – 1991. – С. 260.
3. *Кроновер Р. М.* Фракталы и хаос в динамических системах // М.: Постмаркет, 2000. – С. 352.
4. *Купный В. И.* Объект "Укрытие": вчера, сегодня, завтра // Объект "Укрытие" – 10 лет. Основные результаты научных исследований. – Чернобыль, 1996. – С. 57 – 77.
5. *Боровой А.А., Богатов С.А., Пазухин Э.М.* Современное состояние объекта «Укрытие» и его влияние на окружающую среду // Радиохимия. - 1999. – Т. 41, № 4. – С. 368 – 378.
6. *Павлюченко Н. И., Хан В. Е., Малюк И. А., Хоренко И. П.* Мониторинг неорганизованных выбросов из объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2001. – Вип. 7. - С. 170 - 180.
7. *Павлюченко Н. И., Хан В. Е., Криницын А. П. и др.* Контроль неорганизованных сбросов и выбросов из объекта "Укрытие" в 2004 г. // Проблемы безопасности атомных станций і Чернобиля. – 2005. – Вип. 2. – С. 22 – 32.
8. *Couillard M., Davison M.* A comment on measuring the Hurst exponent of financial time series // *Rhysica A: Statistical and Theoretical Physics.* – 2005. – Vol. 348. – P. 404 – 418.
9. *Planinic J., Vukovic B., Radolic V.* Radon time variations and deterministic chaos // *Journal of Environmental Radioactivity.* – 2004. – Vol. 75. – Issue 1. – P. 35 –45.

Поступила в редакцию 13.12.05

8 ПРО МОЖЛИВІСТЬ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ АКТИВНОСТІ АЕРОЗОЛІВ У ВЕНТИЛЯЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ"

Б. І. Огородников, А. Д. Скорбун

На основі аналізу результатів довготривалих спостережень методом нормованого розмаху Херста (R/S аналізу) обговорюється походження і можливість прогнозу рівня концентрації радіоактивних аерозолів у вентиляційній системі об'єкта «Укриття». Проаналізовано дані про концентрацію ^{137}Cs , ^{241}Am , β -випромінюючих нуклідів і дочірніх продуктів розпаду радону й торону (ДПР) за період близько трьох років. Показано, що коливання концентрації аерозолів ДПР досить добре описуються законом Херста ($H \sim 0,5$), у той час як часові зміни концентрації інших нуклідів цієї закономірності не виявляють, що може вказувати на прояв впливу процесів технічної діяльності (будівельних та інших робіт). Розходження пов'язуються з тим, що ДПР емануються з бетону будівельних конструкцій, у той час як ^{137}Cs , ^{241}Am і β -випромінюючі нукліди пов'язані з дрібно-дисперсними частками палива, що піднімаються в повітря при зовнішніх впливах.

8 ABOUT THE POSSIBILITY OF FORECASTING OF THE LEVEL OF AEROSOLS ACTIVITY IN VENTILATING SYSTEM OF "UKRITYTYA" OBJECT

B. I. Ogorodnikov, A. D. Skorburn

On the basis of results of the long term observation by the Hurst's rescaled range analysis (R/S), the origin and an opportunity of the forecast of a concentration level of radioactive aerosols in a ventilating system of "Ukryttya" object is discussed. The data on concentration ^{137}Cs , ^{241}Am and β -radiating nuclides and daughter products of decay of radon and thoron for the period about three years are analysed. It was shown, that fluctuations of aerosols concentration of daughter products of disintegration of radon and thoron are well enough described by Hurst's law ($H \sim 0,5$) while time changes of the others nuclides do not follow this law, that can specify to displaing of influence of processes of technical activity (building and other works). Distinctions are connected to that daughter products of disintegration of radon and thoron are emanated from concrete of building designs, while ^{137}Cs , ^{241}Am , and β -radiating nuclides are connected with fine dispersive particles of fuel, which rise in an air at external influences.