

УДК 539.16

ВАРИАЦИИ РАДИАЦИОННОГО ПОЛЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АЗОВСКОГО МОРЯ

И.Н. Бекман, М.А. Хасков, В.И. Пасека, Л.Е. Панаркина, Г.Б. Рязанцев

(кафедра радиохимии)

Проведен статистический анализ флуктуаций радиационного поля в северной части Азовского моря, измеряемых в течение 15 лет (1987–2002). Спектральное разложение Фурье было использовано для разложения сложного временного ряда на циклические составляющие, описываемые несколькими синусоидальными функциями с конкретными значениями длин волн. Показано, что гамма-фон эволюционирует во времени по достаточно сложному закону, включающему в себя монотонный дрейф базовой линии, белый шум, процессы с перемежаемостью типа Фликкер-шума и многочисленные сезонные и циклические колебания. В качестве адекватной модели предложена модель авторегрессии и скользящего среднего, рассчитаны ее параметры и проведена экстраполяция массива в будущее.

Оценка радиационной опасности плотно заселенной территории очень важна для контроля за экологической обстановкой. Известно, что дозовая нагрузка на население конкретного региона определяется распределением источников ионизирующего излучения в среде обитания, а также характером флуктуации радиационного поля во времени и пространстве. Учет вредного влияния радионуклидов и испускаемых ими ионизирующих излучений на животный мир и человека ценен сам по себе, но особенно важным он становится при возникновении эффектов синергизма – одновременного и сильного отрицательного влияния вредных факторов (тяжелых металлов, диоксинов, угарного газа, радиоактивных излучений, бактерий, микрофлоры, шума и т.п.). В этом смысле особый интерес представляет северное побережье Азовского моря, для которого характерны большая плотность населения, наличие металлургических промышленных предприятий и развитая курортная база (преимущественно детская). В этом регионе существует настоятельная необходимость создания долгосрочных прогнозов влияния радиационной обстановки на здоровье жителей и отдыхающих.

В настоящей работе методами математической статистики в рамках концепции детерминированного хаоса проанализированы особенности флуктуаций радиационного фона в окрестностях г. Мариуполя в период 1987–2002 г. Результаты анализа временных рядов использованы для создания прогноза развития экологической ситуации в г. Мариуполе и его окрестностях.

Радиологические и экологические особенности г. Мариуполя

Расположенный на северном побережье Азовского моря г. Мариуполь подвержен влиянию воздушных

масс, поступающих как со стороны моря, так и со стороны степи, открытой северным и восточным ветрам. Ниже перечислены причины, по которым могут возникать флуктуации радиационного фона.

1. Переменная интенсивность космического излучения.

2. Процессы смешения пресных и соленых вод вблизи северного побережья Азовского моря (смешение вод приводит к флуктуации солености воды и, следовательно, к флуктуации активности ^{40}K – жесткого гамма-излучателя; выносы ветрами радиоактивных аэрозолей существенно изменяют радиационную обстановку в прибрежной полосе).

3. Подземные источники геотермальных вод, содержащих радон и подводные морские грязевые вулканы.

4. Разработка месторождений природного газа в морской акватории, сопровождающаяся выбросами радиоактивного инертного газа – радона (^{222}Rn) и продуктов его распада.

5. Поступление в атмосферу радона и радия совместно с газовыми и аэрозольными выбросами металлургических предприятий, а также выделение радона из отвалов переработанной руды.

6. Выделение изотопов радона (^{220}Rn и ^{222}Rn) из почвы, карьеров по разработке гранитов, из подвалов, строительных материалов, колодцев и т.п., особенно высокое в местах скопления “черных песков” в грунтах под зданиями.

7. Выделение короткоживущего изотопа радона – торона (^{220}Rn) из “черных” песков (ториевых минералов, например, монацита), покрывающих местами местные пляжи (частицы черного песка поднимаются юго-восточными ветрами; типичные для этих мест сильные ветры, принимающие характер пыль-

Т а б л и ц а 1

Статистические параметры исходной совокупности измерений фона ($I_{\text{фон}}$) и совокупности чисел ($I_{\text{кор}}$), полученных путем вычитания из исходных данных дрейфа базовой линии (полином 2 порядка, рис. 1, б)

Массив	Отклонение				γ_1	$\Delta\gamma_1$	γ_2	$\Delta\gamma_2$	χ^2	К-С
	минимальное	максимальное	среднее	стандартное						
$I_{\text{фон}}$	7	24,75	13,82	2,302	0,284	0,033	0,961	0,067	1734	4,7
$I_{\text{кор}}$	-5,65	10,2	0,019	1,707	0,262	0,033	0,776	0,067	337	2,42

ных бурь, существенно влияют на радиационную обстановку побережья).

8. Поступление радиоактивных аэрозолей, выделившихся в окружающую среду в ходе эксплуатации атомных электростанций.

9. Последствия Чернобыльской катастрофы.

Важно подчеркнуть, что на экологическую обстановку рассматриваемого здесь региона существенное влияние, помимо радиационных, оказывают химические факторы риска. К ним относятся выбросы серо-содержащих кислых газов и СО металлургическими предприятиями, выбросы диоксинов и СО транспортом, стоки растворов солей тяжелых металлов в бухту города, муниципальные стоки, загрязнение акватории порта нефтепродуктами и др. Одновременное воздействие нескольких факторов риска на окружающую среду может привести к тяжелым последствиям.

Вариации радиационного поля в г. Мариуполе

Радиометрический мониторинг осуществлялся сотрудниками СЭС г. Мариуполя с использованием радиометра типа СРП-86Н на высоте 1 м над уровнем почвы в 11 ч утра. В нашем распоряжении имелась совокупность чисел – данных по ежедневному измерению интенсивности радиационного поля (в микро-рентгенах), начиная с 1 июля 1987 г. и кончая 29 марта 2002 г. (всего 5386 измерений за 14,75 лет).

График изменения интенсивности радиационного поля в г. Мариуполе в зависимости от времени приведен на рис. 1, а. Показания счетчика ионизирующего излучения флуктуируют относительно среднего значения (13,82 мР/ч), изменяясь в интервале от 7,0 до 24,8 мР/ч (стандартное отклонение 2,30). В первый период наблюдений фон уменьшался (распад радиоактивных аэрозолей после выброса в ходе Чернобыльской катастрофы), затем радиационный фон оставался практически постоянным, но в последние годы имело место некоторое его увеличение. Эти тенденции хорошо отражает дрейф базовой линии

(сплошная кривая на рис. 1, а). Подгонка базовой линии к экспериментальным результатам была проведена методом наименьших квадратов по полиному второй степени

$$A = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2,$$

где A – показания радиометра, t – время измерения (дни). Были получены следующие значения параметров:

$$b_0 = 17,4793, b_1 = -2,22 \times 10^{-3}, b_2 = 2,3266 \times 10^{-7}.$$

На рис. 1, б представлены значения радиационного фона, скорректированного на дрейф базовой линии ($I_{\text{кор}}$).

Методы обработки экспериментальных данных и их результаты

Анализ исходных данных проводили в два этапа. Сначала с помощью интегрированной системы для комплексного статистического анализа и обработки данных *STATISTICA* их исследовали как некоторую совокупность результатов измерений. На втором этапе их рассматривали как некоторый временной ряд и использовали статистические методы обработки нестационарных рядов.

Обработка выборок

Функцию распределения фона оценивали по эмпирической функции распределения. С этой целью строили гистограмму распределения (разбиение на 36 классов), затем рассчитывали параметры распределения: выборочное среднее (первый начальный момент), m_1 – математическое ожидание (второй центральный момент), μ_2 – дисперсия (третий центральный момент), асимметрия (четвертый центральный момент), эксцесс, т.е. степень кривизны в моде, а также два основных момента: асимметрия и эксцесс (крутизна в моде), нормированные на дисперсию (γ_1 и γ_2) [1, 2].

Некоторые статистические параметры совокупности исходных результатов приведены в табл. 1. В ре-

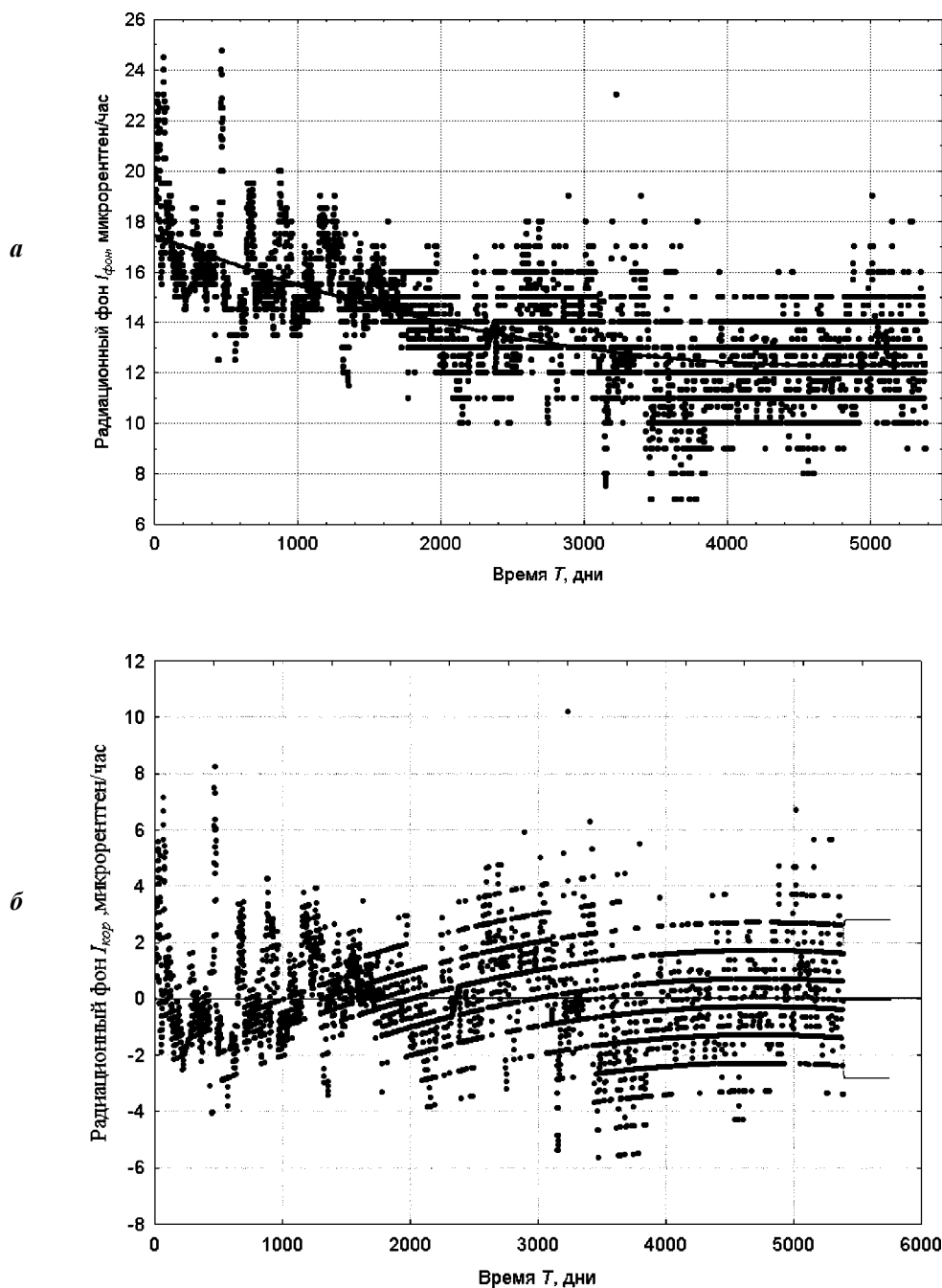


Рис. 1. Изменения интенсивности радиационного поля в г. Мариуполе в 1987–2002 гг.: *a* – исходный массив данных (точки – измеренные величины, сплошная кривая – дрейф базовой линии фона – полином второго порядка); *б* – данные по флуктуации радиационного фона, скорректированные на дрейф базовой линии (точки – экспериментальные данные, скорректированные на дрейф базовой линии ($I_{кор}$), сплошные линии – экстраполированные значения). В конце массива – экстраполяция на следующий год и доверительные интервалы для этой экстраполяции

результате расчетов были получены следующие значения: $\gamma_1 = 0,28$ и $\gamma_2 = 0,96$ (напомним, что теоретическое нормальное распределение характеризуется условием $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$ [3]). С учетом приведенных в табл. 1 значений погрешностей измерения основных параметров можно заключить, что параметры γ_1 и γ_2 значительно отличаются от нуля, что не позволяет при-

нять гипотезу о подчинении экспериментальных результатов нормальному распределению. Эмпирическое распределение имеет правостороннюю асимметрию, отличаясь тем самым от симметричного нормального распределения. Положительная крутизна в моде указывает на то, что экспериментальное распределение более “плосковершинно”, чем нормальное

распределение. Согласие данных с нормальным законом контролировали также с помощью критерия Пирсона (χ^2 -критерия) и критерия согласия Колмогорова–Смирнова (К–С-критерия). Значение экспериментального критерия Пирсона $\chi^2_{\text{эксп}} = 1735$ существенно превышает теоретическое $\chi^2_{\text{экс}}(0,05; 33) = 47$ [5], что заставляет отказаться от гипотезы о подчинении рассматриваемой выборки нормальному распределению. Экспериментальное значение К–С-критерия составляет 4,7. Для выполнения справедливости распределения Гаусса это значение слишком велико и превышает теоретическое значение (1,07) даже для уровня значимости $\alpha = 0,2$ [3].

Таким образом, основные статистические критерии позволяют отказаться от гипотезы о нормальности распределения результатов измерения радиационного фона в г. Мариуполе. Распределение близко к нормальному, но все же статистически значимо отличается от него.

Неподчинение выборки нормальному распределению в первую очередь связано с тем, что мы имеем дело не просто со статистическим разбросом результатов (как это было бы, например, при радиоактивном распаде препарата), а с совокупностью данных, изменяющихся во времени. Поэтому в дальнейшей работе исследовали статистический характер совокупности скорректированных результатов ($I_{\text{кор}}$). Коррекцию результатов проводили путем вычитания из экспериментальных данных значений дрейфа базовой линии (рис. 1, б). Для скорректированной выборки $\gamma_1 = 0,26$ и $\gamma_2 = 0,78$ (табл. 1) критерий Пирсона $\chi^2_{\text{эксп}} = 337$, что существенно ниже, чем соответствующее значение для исходного фона, но все же выше теоретического значения. Экспериментальный критерий Колмогорова–Смирнова (К–С = 2,4) выше теоретического.

Таким образом, несмотря на то, что коррекция фона на дрейф базовой линии несколько приблизила выборку к распределению Гаусса, статистические критерии не позволяют отнести скоррелированные данные к нормальному распределению.

Анализ совокупности чисел как временного ряда

Результаты измерений радиационного фона рассматривали как временной ряд, зависящий от непрерывного аргумента (времени), подвергающийся нерегулярным случайным воздействиям или флуктуациям, и допускающий только статистическое описание. Наблюдаемые явления, с одной стороны, имеют элемент случайности, а с другой – изменяются во времени. В задачи работы входило построение простой модели, описывающей ряд, сглаживание его, прогнозирование будущих значений временного ряда на основе наблюдаемых до данного момента эффектов,

проведение спектрального анализа ряда. При этом учитывали монотонный тренд, а также сезонные и циклические составляющие ряда.

Автокорреляционная функция [3] для массива радиационного фона, скоррелированного на дрейф базовой линии ($I_{\text{кор}}$), для числа лагов 990 приведена на рис. 2, а. Видно, что автокорреляционная функция с ростом лага уменьшается по простой параболической зависимости. Такое поведение характерно для ситуаций, в которых событие существенно зависит от его предыстории (процесс со скользящим средним). При больших значениях лага корреляционная функция начинает совершать колебания относительно оси абсцисс (процесс авторегрессии). Это указывает на присутствие в экспериментальных данных сезонных колебаний, описываемых синусоидами с различными периодами колебаний. Из рис. 2, а видно, что в экспериментальные данные существенный вклад вносит белый шум. На рис. 2, б приведены аналогичные данные для частной автокорреляционной функции (для 15 лагов). Видно, что для расчета временных флуктуаций в некоторый конкретный день необходимо знать значения фона по крайней мере за 8 предыдущих дней [3]. Этот факт важен из-за самой возможности предсказаний: наличие некоторого порядка (законов изменения) в данных позволяет заглядывать в будущее.

Поскольку коррелограмма выявила наличие сезонных колебаний, был проведен полный спектральный (Фурье) анализ временных рядов и построена периодограмма. Периодограммы массива радиационного фона для разных масштабов приведены на рис. 3. Характеристики основных линий спектра собраны в табл. 2.

Отметим, что в соответствии с теорией рядов Фурье линии с периодом более половины длины массива (т.е. более 2700 дн) физического смысла не имеют [3]. Спектр Фурье включает несколько гармонических колебаний с четко фиксированными периодами или группой периодов. Основными являются следующие периоды: 1638 дн (4,49 г.); 372 дн (1,02 г.), (между ними есть период в 819 дн (2,24 г.)); период 195 дн (6,41 мес) и сопутствующие периоды в 182 дн (5,98 мес) и 164 дн (5,4 мес); 97 дн (3,2 мес), 17 дн (0,56 мес) и 8,4 дн (примерно неделя).

На рис. 4 спектр Фурье для $I_{\text{кор}}$ представлен в двойном логарифмическом масштабе $\ln A - \ln(\omega)$.

Видно, что спектр хорошо аппроксимируется прямой линией:

$$\ln A = \ln A_0 - k \cdot \ln \omega,$$

где $\ln A_0 = -0,9637$, $k = 0,8343$, ω – частота [дн⁻¹].

Тангенс угла наклона кривой дает меру упорядочения статистического массива. В нашем случае k

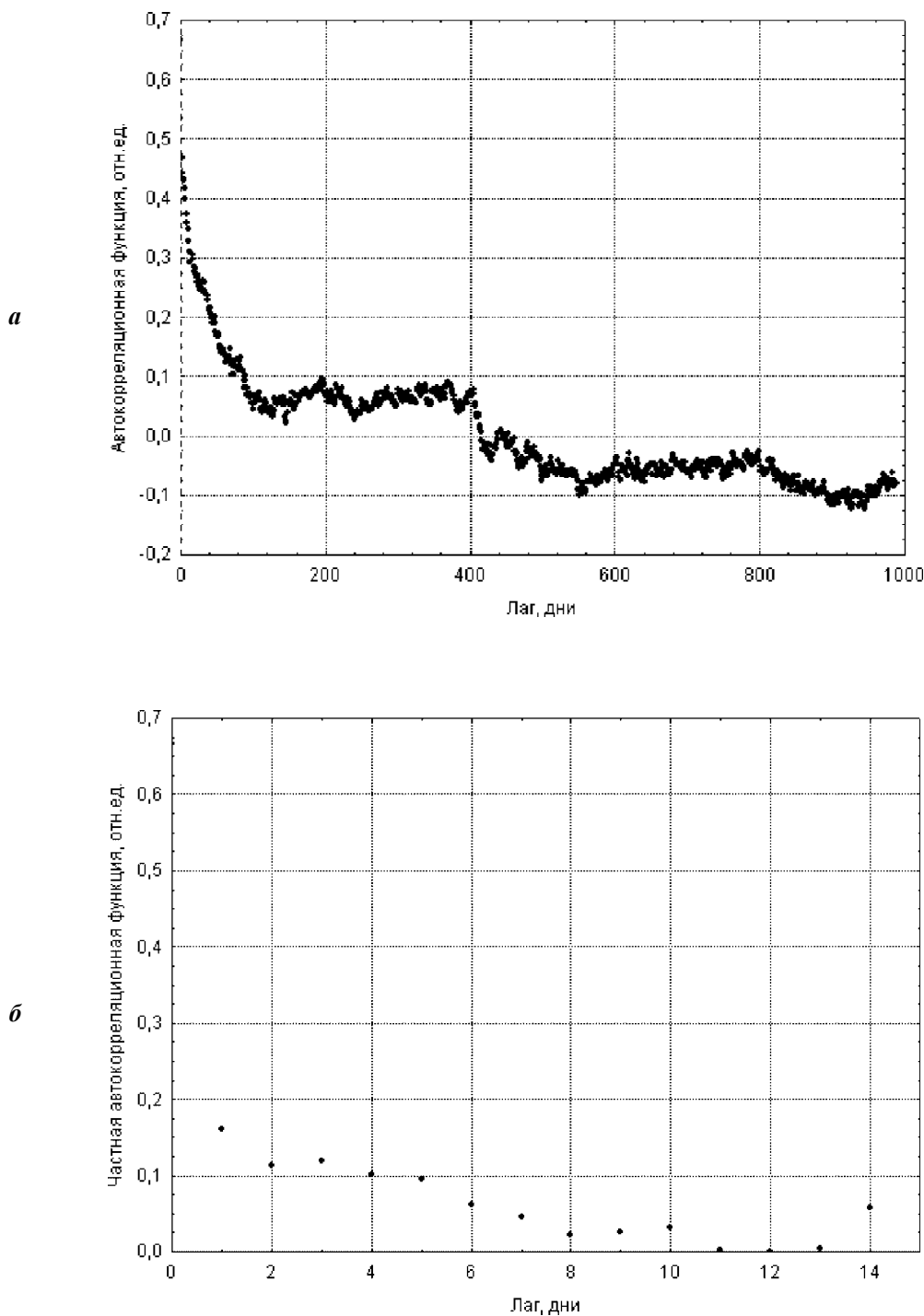


Рис. 2. Автокорреляционная и частная автокорреляционная функции: *а* – автокорреляционная функция радиационного фона, скорректированного на дрейф базовой линии (число лагов 990); *б* – частная автокорреляционная функция (для 15 лагов) радиационного фона, скорректированного на дрейф базовой линии

существенно отличается от нуля (т.е. от значения, характерного для “белого шума” – совершенно неупорядоченного массива, “идеального” хаоса) и довольно близок к единице. Эту меру можно рассматривать как показатель фрактала, т.е. использовать как меру детерминированного хаоса (напомним, что для полностью упорядоченного (детерминированного) процесса, развивающегося в трехмерном пространстве, показатель фрактала равен 3) [4]. Очевидно, что,

несмотря на кажущийся случайный характер колебания радиационного фона в районе г. Мариуполя, в нем имеется достаточно хорошо упорядоченные (повторяющиеся) элементы.

Математическая модель флуктуаций радиационного фона

При выводе математической модели флуктуаций радиационного фона, скоррелированного

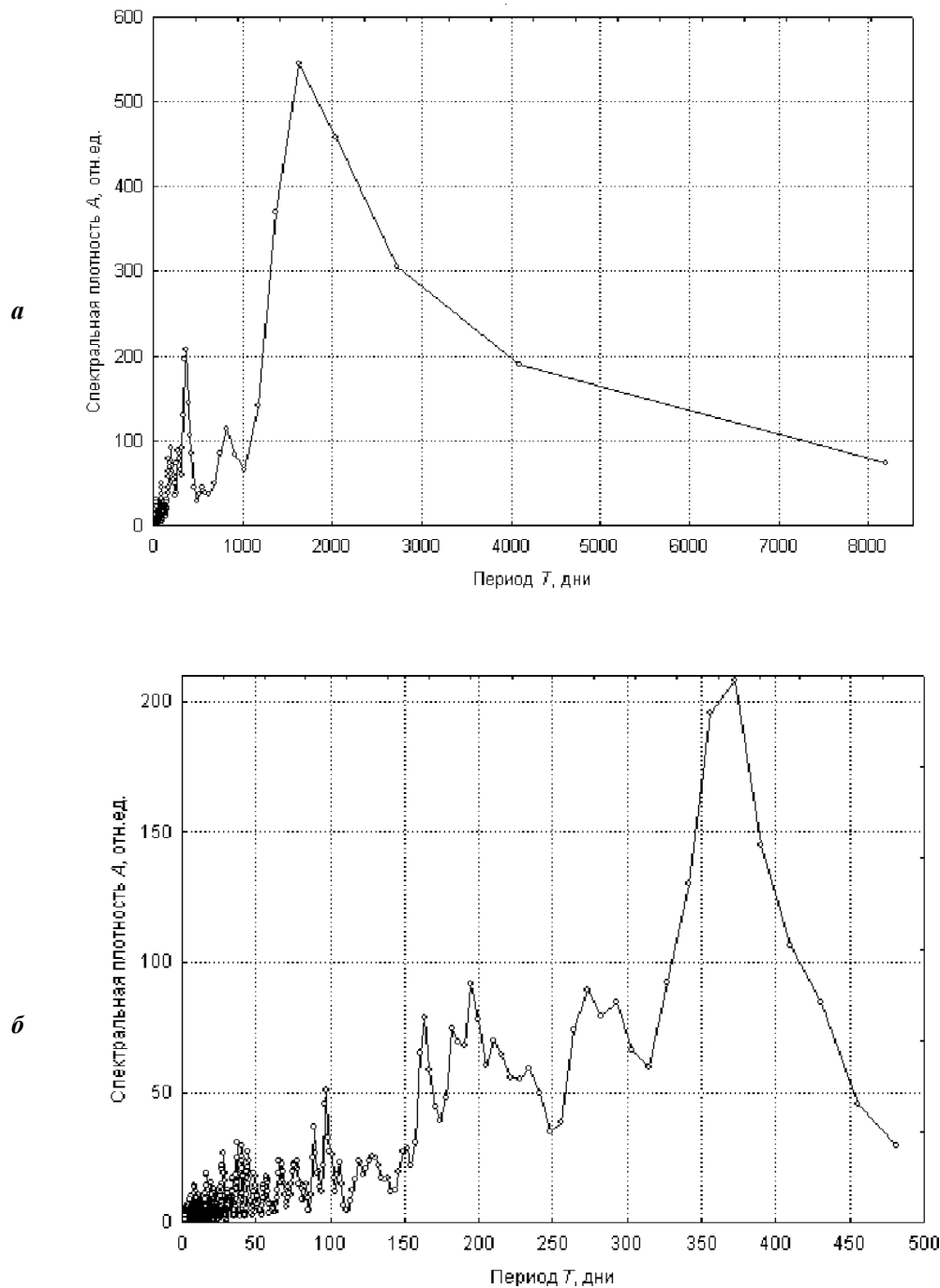


Рис. 3. Периодограмма массива радиационного фона, скорректированного на дрейф базовой линии: *a* – весь спектр; *б* – участок спектра при высоких частотах

на дрейф базовой линии, были рассмотрены следующие гипотезы природы случайного процесса [3].

Гипотеза 1. Процессы скользящего среднего (СС)

Процесс СС первого порядка, при котором статистически зависимыми оказываются только соседние члены ряда.

Значения процесса, разделенные промежутком времени 2 дня и более, статистически независимы.

Процесс скользящего среднего q -порядка ($MA(q)$). Автокорреляционная функция такого процесса обращается в нуль вне некоторого конечного участка. Частная автокорреляционная функция (ЧАКР) при больших значениях лага (k) не обращается в нуль, а экспоненциально убывает. В нашем случае траекто-

Т а б л и ц а 2

Основные линии в спектре Фурье радиационного фона, скорректированного на дрейф базовой линии

Частота ω , день ⁻¹	Период T , день	Спектральная плотность, А
0,0006104	1638,4	545,6
0,001227	819,2	114,5
0,0026855	372,4	208,2
0,003418	292,6	84,55
0,0036621	273,1	89,23
0,0042725	234,1	59,05
0,0047607	210,1	70,09
0,005127	195	91,62
0,0054932	182	74,39
0,0061035	163	78,58
0,0065918	151,7	28,19
0,0067139	149	27,41
0,0078125	128	25,67
0,0102539	97,52	50,72
0,0270996	36,9	30,54
0,0351563	28,44	26,75
0,0515137	19,41	15,61
0,0565186	17,69	12,25
0,0587158	17,03	18,53
0,0588379	17	18,75
0,1060791	9,43	11,81
0,1190186	8,41	14

рия радиационного фона ($I_{\text{кор}}$) оказалась довольно гладкой, но автокорреляционная функция при больших лагах не обращается в нуль, а совершает колебание вокруг оси абсцисс. Поэтому гипотеза 1 в ее чистом виде должна быть отвергнута.

Гипотеза 2. Процессы авторегрессии

Процесс авторегрессии первого порядка. Автокорреляционная функция AR(1) процессов экспоненциально убывает с ростом лага (k). В этом случае отлично от нуля только первое значение ЧАКФ, а все остальные значения этой функции равны нулю.

В первом приближении спектральная плотность подчиняется степенному закону:

$$A(\omega) = A_0 \omega^{-k} \text{ или } \lg A(\omega) = A_0 - k \cdot \lg \omega,$$

т.е. в двойном логарифмическом масштабе частотный спектр описывается прямой линией с тангенсом угла наклона k . Перемежающиеся случайные процессы (процессы с интермитансом) формально сводятся к подобным зависимостям. При этом параметр k определяет степень детерминированности (т.е. меру порядка) в хаосе. В рамках геометрии фракталов параметр k связан с фрактальной размерностью: $k = 2 \times (3 - D)$ или $D = 3 - 0,5k$, где $D > 1$ – фрактальная размерность. Анализ таких процессов в физике получил название фликкер-шумовой спектроскопии [4]. Однако метод дает хорошие результаты только в простейшем случае ($k = 2$, т.е. $D = 2$), поскольку в рассмотрение можно ввести аналитические выражения как для разложения Фурье, так и для автокорреляционной функции. Напомним, что значение $k = 2$ соответствует фиковской диффузии, $1 < k < 3$ – леви-диффузии, $k = 5/3$ – случаю Колмогорова (полностью развитая турбулентность), $k = 4$ – турбулентной диффузии [4].

В нашем случае $k = 0,83$, т.е. намного ближе к 1, чем к 2. Фрактальная размерность D для радиационного фона, скоррелированного на дрейф базовой линии, составляет 2,59, что указывает на высокую упорядоченность исследуемого цифрового массива. Формально наши данные можно отнести к фликкер-шуму, но поведение автокорреляционной функции, представляющей собой сочетание экспоненты и гармонических колебаний, заставляет искать более сложную модель.

Авторегрессия второго порядка. Текущее значение процесса AR(2) в момент t формируется как линейная комбинация его значений в предыдущие моменты ($t-1$) и ($t-2$) и независимой от них случайной величины ϵ_t . Здесь отличны от нуля только первые два значения ЧАКФ.

Авторегрессия порядка p – AR(p). В этом случае автокорреляционная функция стационарного AR-про-

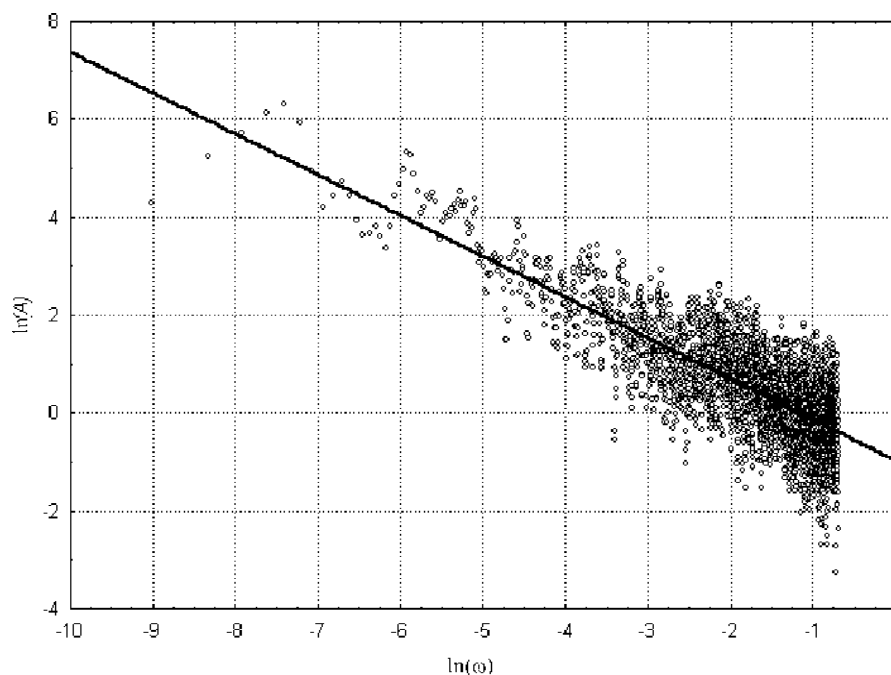


Рис. 4. Спектр Фурье радиационного фона, скорректированного на дрейф базовой линии, построенный в двойном логарифмическом масштабе (точки – экспериментальные данные, сплошная линия – подгонка прямой к экспериментальному массиву)

цесса является суммой затухающих экспонент и затухающих синусоидальных волн. ЧАКФ при больших значениях лага обращается в нуль.

Автокорреляционная функция для радиационного фона $I_{\text{кор}}$ вполне соответствует определению авторегрессии p -го порядка. Однако поведение спектральной функции указывает и на некоторый вклад со стороны процесса скользящего среднего. В связи с этим нам представляется необходимым некоторое комбинирование гипотез 2 и 3.

Гипотеза 3. Комбинированные процессы авторегрессии скользящего среднего $APCC(p, q)$

$APCC(p, q)$ – класс линейных стационарных случайных процессов с дробно-рациональной спектральной плотностью, описываемый дробью, в числителе которой находится полином $Q(\omega)$, а в знаменателе – полином $P(\omega)$. Поскольку $Q(\omega)$ и $P(\omega)$ – полиномы степени q и p соответственно, то процесс с порядком авторегрессии p и порядком скользящего среднего q принято обозначать как $APCC(p, q)$. Частными случаями являются процессы скользящего среднего $CC(q)$, где $P(\omega) \equiv \text{const}$, и процессы авторегрессии $AP(p)$, когда $Q(\omega) \equiv \text{const}$.

Данные по радиационному фону ($I_{\text{кор}}$) обрабатывали в рамках модели авторегрессии порядка $p = 8$. Значимыми оказались следующие параметры модели (с учетом годового лага 365 дн): $p_1 = 0,499$; $p_2 = 0,066$; $p_4 = 0,0536$; $p_5 = 0,0462$; $p_6 = 0,0599$; $p_7 = 0,0393$; $p_8 = 0,0460$. В рамках модели скользящего

среднего $q_1 = -0,533$; $q_2 = -0,357$; $q_3 = -0,251$; $q_4 = -0,211$; $q_5 = -0,182$; $q_6 = -0,187$; $q_7 = -0,162$, $q_8 = -0,117$. Однако с точки зрения стандартных статистических критериев (сумма квадратов отклонений, спрямление остатков в вероятностном масштабе и т.п.) наилучшие результаты были получены при использовании модели авторегрессии скользящего среднего с минимальным числом параметров: $p_1 = 0,869$ и $q_1 = 0,404$. Именно эта модель и была принята нами за адекватную модель описания статистических флуктуаций радиационного фона, скорректированного на дрейф базовой линии. Гипотеза 3 была использована для прогноза флуктуаций радиационного фона на следующий год. Прогноз и доверительный интервал для него приведены на рис. 1, б.

Таким образом, проведенный в настоящей работе статистический анализ флуктуаций радиационного поля в северной части Азовского моря показал, что изменение во времени гамма-фона носит весьма сложный характер. Среднее значение фона изменяется во времени по кривой, описываемой полиномом второго порядка. Падение значения фона в первые годы измерений связано с распадом радионуклидов, выпавших в окрестностях г. Мариуполя в результате Чернобыльской катастрофы. Данные по радиационному фону содержат как чисто случайную (“белый шум”), так и хорошо упорядоченную (повторяющуюся) компоненту, о чем свидетельствует достаточно большое значение показателя фрактала. Они в довольно высокой степени скоррелированы во вре-

менной последовательности динамических всплесков и скачков значений фона. Формальное подчинение спектральной плотности степенному закону (спектральная плотность оказалась обратно пропорциональной частоте) заставляет отнести рассматриваемую систему к фликкер-шуму, т.е. к эволюции динамической переменной в виде перемежаемости. Этот процесс определяется динамическими всплесками и резкими изменениями в значениях фона. Такие установленные факты, как участие в формировании значения фона предыдущих значений по крайней мере за 8 дней и возможность отнесения изучаемого процесса к одному из случаев леви-диффузии, показывают, что причиной изменения фона не может быть какой-то локальный процесс, протекающий в непосредственной близости от детектора. Колебания радиационного поля явно связаны с такими долговременными явлениями, как перемещение больших масс воздуха,

выпадение осадков, таяние снежного покрова, пылевые бури, переносящие прибрежные пески, насыщенные изотопами радона, их материнскими и дочерними радионуклидами, и т.п. Важно подчеркнуть, что в нашем случае фликкер-шум, хоть и играет существенную роль в эволюции радиационного поля, но не является определяющим (эволюция радиационного поля происходит как дискретно, так и непрерывно). Тот факт, что наилучшей моделью оказался комбинированный процесс авторегрессии скользящего среднего свидетельствует о том, что исходные данные, помимо рассмотренных в настоящей работе, содержат сезонные и циклические колебания. Несмотря на то, что подробный анализ гармонических колебаний в настоящее время продолжается, выбор адекватной модели процесса уже сейчас позволил предсказать развитие процесса изменения радиационной обстановки в районе г. Мариуполя на многие годы вперед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекман И.Н., Железнов А.В., Дубовая О.В. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 1995. **36**. С. 228.
2. Бельнов В.К. Статистический анализ оценки параметров математических моделей химических процессов. М., 1991.
3. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М., 1998.
4. Тимашов С.Ф. // Теоретические основы химической технологии. 2000. **34**. С. 339
5. Лукьянов В.Б., Бердоносов С.С., Богатырев И.О., Заборенко К.Б., Иофа Б.З. Радиоактивные индикаторы в химии. Проведение эксперимента и обработка результатов. М., 1977.

Поступила в редакцию 24.12.02

VARIATION OF THE RADIATION FIELD IN THE NORTHERN AREA OF AZOV SEE

I.N. Beckman, M.A. Khaskov, V.I. Paseka, L.E. Ponarkina, G.B. Ryazantsev

(Division of Radiochemistry)

The statistical methods were used for the fluctuations analysis of a radiating field in the northern part of the Azov sea during 1987–2002. The purpose of the Spectral (Fourier) analysis was to decompose a complex time series with cyclical components into a few underlying sinusoidal functions of the particular wavelengths. It was established, that the gamma– background changes from time to time under the complex law including, monotonous drift of a base line, white noise, processes with intermittency, such as Flicker-noise, numerous seasonal and cyclic fluctuations. Model of autoregressive and moving average was offered, its parameters were designed and was carried out forecasting.