

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОСТРАНСТВЕННО-
ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ
БЕТА-АКТИВНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРИЧЕРНОМОРСКИХ
РАЙОНАХ КРЫМА
В 1997 – 2001 ГОДАХ**

A.I. Рябинин, В.Ю. Еркушов,
Ю.П. Ильин, С.А. Шибаева,
Г.Ф. Батраков*

Морское отделение УкрНИГМИ
НАН Украины,
г. Севастополь, ул. Советская, 61
*Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: slaverk@ukr.net

Представлены результаты радиоэкологического мониторинга потоков суммарных бета-радионуклидов на территорию Севастополя, Феодосии и Керчи в 1997 – 2001 годах. Приведены значения суммарных потоков бета-радионуклидов за весь период наблюдений. Проведено исследование трендов межгодовой изменчивости потоков суммарной бета-активности с атмосферными выпадениями в Крыму.

Введение. Ранее в [1] были представлены данные о временной изменчивости потоков суммарной бета-активности из атмосферы на территорию Крыма в городах Севастополе, Керчи и Феодосии с января 2002 по февраль 2009 года. В настоящей статье впервые обсуждается период наблюдений с января 1997 по декабрь 2001 года. По результатам национального государственного радиоэкологического мониторинга за этот период установлено, что для всех районов ежесуточная изменчивость достигала значительных величин, изменяясь от 0 до 10,6 $\text{Бк}/\text{м}^2$. Расширение периода мониторинга дополнительными пятью годами (1997 – 2001 гг.) до двенадцати-тринадцати лет сделало возможным исследование трендов межгодовой пространственно-временной изменчивости потоков суммарной бета-активности с атмосферными выпадениями в Крыму.

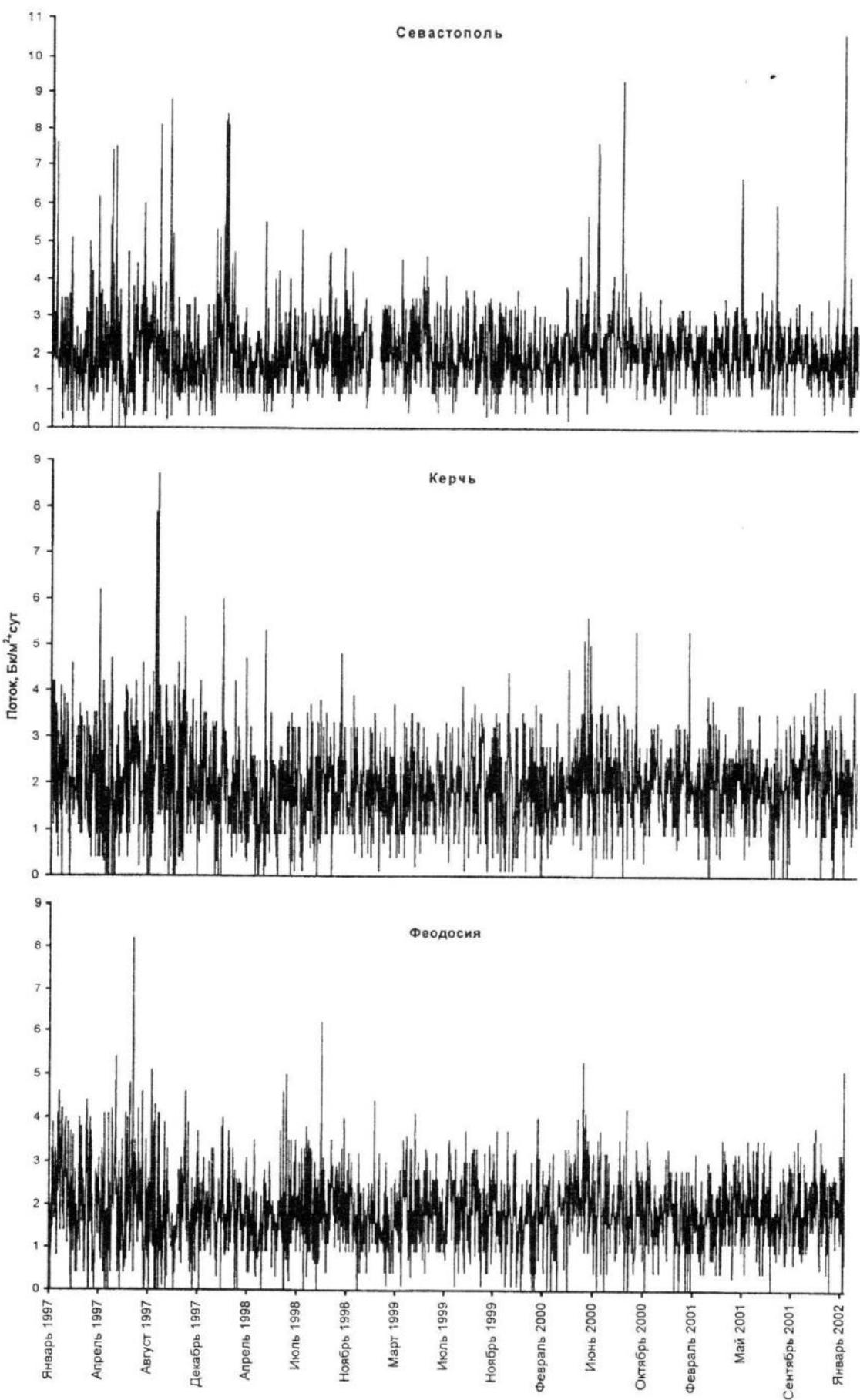
Цели и задачи исследования. Исследовать закономерности пространст-

венно-временной изменчивости потоков суммарной бета-активности, выпадающих на территорию Севастополя, Феодосии и Керчи за периоды с января 1997 по декабрь 2001 и в целом с января 1997 по февраль 2009 годов.

Материалы исследований. Принципы организации отбора проб атмосферных выпадений, дискретности отбора проб и метод их анализа обсуждены в [1]. За период с января 1997 по декабрь 2001 годов пробы отбирались ежесуточно, как и в более поздний период по февраль 2009 года включительно.

Результаты исследований. Для периода с января 1997 года по декабрь 2001 года результаты мониторинга потоков бета-радионуклидов для трех исследованных районов представлены на рис. 1. В районе Севастополя (рис. 1) ежесуточные потоки бета-радионуклидов колеблются немонотонно в пределах от 0 до 10,6 $\text{Бк}/\text{м}^2$. Максимальные потоки (8,0 – 10,6 $\text{Бк}/\text{м}^2\cdot\text{сут}$) наблюдались в 1997 году (5 и 28 сентября), в 1998 году (1, 4 и 7 февраля), в 2000 году (1 августа) и в 2001 году (23 декабря). В то же время в 1997 году (17 февраля, 23 марта, 18 мая, 3 и 18 июня) суммарная бета-активность в пробах отсутствовала. Ежемесячные потоки в этот период колебались в пределах от 28,0 до 85,4 $\text{Бк}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$. Максимальное загрязнение наблюдалось в январе 1997 года, а минимальное – в январе 1999 года. Годовые потоки лежат в интервале от 710,8 $\text{Бк}/\text{м}^2\cdot\text{год}$ (1999 год) до 785,0 $\text{Бк}/\text{м}^2\cdot\text{год}$ (2000 год). За весь период мониторинга суммарный поток составил $40,3 \cdot 10^8 \text{ Бк}/\text{км}^2$.

Ежесуточные потоки суммарных бета-радионуклидов в районе Керчи (рис. 1) изменяются в диапазоне 0 – 8,7 $\text{Бк}/\text{м}^2$. Максимальные потоки (6,0 – 8,7 $\text{Бк}/\text{м}^2\cdot\text{сут}$) наблюдались в 1997 году (22 апреля, 29 и 30 августа, 3 сентября) и в 1998 году (31 января). В течение всего периода наблюдений суммарная бета-активность отсутствовала в 39 пробах. Ежемесячные потоки за данный период наблюдений колебались в интервале от 47,0 до 79,9 $\text{Бк}/\text{м}^2\cdot\text{месяц}$.



Р и с. 1. Ежесуточная изменчивость потоков за январь 1997 – декабрь 2001 годов

Максимальное загрязнение наблюдалось в сентябре 1997 года, а минимальное в марте 1999 года. Годовые потоки изменились в диапазоне от 677,0 Бк/м²·год (1998 год) до 786,3 Бк/м²·год (1997 год). За весь период мониторинга суммарный поток бета-радионуклидов составил 38,9·10⁷ Бк/км².

В Феодосии (рис. 1) ежесуточные потоки суммарных бета-активных радионуклидов изменялись в пределах от 0 до 8,2 Бк/м². Максимальные потоки (5,0 – 8,2 Бк/м²·сут) наблюдались в 1997 году (5 июня, 15 июля, 28 августа), в 1998 году (6 июля, 25 сентября) и в 2000 году (28 мая). В течение всего периода наблюдений суммарная бета-активность отсутствовала в 43 пробах. Ежемесячные потоки в этот период колебались в интервале от 41,1 до 77,5 Бк/м²·месяц. Максимальное загрязнение наблюдалось в июле 1997 года, а минимальное – в октябре 1997 года. Годовые потоки суммарной бета-активности лежали в пределах от 658,7 Бк/м²·год (1999 год) до 723,8 Бк/м²·год (1997 год). Суммарный поток за весь период наблюдений в районе Феодосии составил 11,9·10⁷ Бк/км².

Графики изменчивости годовых потоков бета-активных радионуклидов для периода январь 1997 – декабрь 2008 годов представлены на рис. 2.

Как следует из данного рисунка, в 1998 – 2002, в 2004, 2005 и 2008 годах прослеживается тенденция уменьшения величины среднегодового потока в направлении Севастополь → Керчь → Феодосия. В остальные годы периода

наблюдений подобная тенденция отсутствует.

Исследование межгодовой пространственно-временной изменчивости потоков суммарной бета-активности позволило выявить определенные тренды для различных районов, уравнения и величина достоверности аппроксимации (R^2) которых приведены в табл. 1.

Из данных таблицы следует, что для межгодового хода потока суммарных бета-активных радионуклидов за исследованный период лишь для Феодосии в качестве модели, описывающей тенденцию с заметной характеристикой силы связи [2], можно принять линейную зависимость. Для Севастополя и Керчи предпочтительнее аппроксимация полиномом пятой и третьей степени (соответственно $R^2 = 0,31$ и $R^2 = 0,47$).

Для выявления тенденции в сезонной изменчивости потоков суммарной бета-активности были построены тренды многолетней изменчивости за характерные месяцы каждого из четырех сезонов (январь, апрель, июль, октябрь). Соответствующие уравнения для трех исследуемых районов для зимнего сезона (январь 1997 – 2009 годов) представлены в табл. 2.

Аппроксимация линейным уравнением, согласно табл. 2, не выявила устойчивой тенденции, и лишь количественная мера тесноты связи при аппроксимации полиномом третьей степени ($R^2 = 0,38 \div 0,74$) позволяет принять данную модель как удовлетворительную.

Весенний сезон представлен данными за апрель, и соответствующие уравнения аппроксимации приведены в табл. 3.

Таблица 1

Тренды многолетней изменчивости годовых потоков суммарной бета-активности в 1997 – 2008 годах

Район	Уравнение	R^2
Севастополь	$y = 1,72x + 741$	0,034
	$y = -0,404x^3 + 7,66x^2 - 38x + 790$	0,19
	$y = -0,032x^5 + 0,94x^4 - 10,2x^3 + 50,9x^2 - 112x + 826$	0,31
Керчь	$y = 2,09x + 721$	0,029
	$y = -0,90x^3 + 17,2x^2 - 89x + 836$	0,47
Феодосия	$y = 6,01x + 675$	0,27
	$y = -0,85x^3 + 16,4x^2 - 82x + 787$	0,71

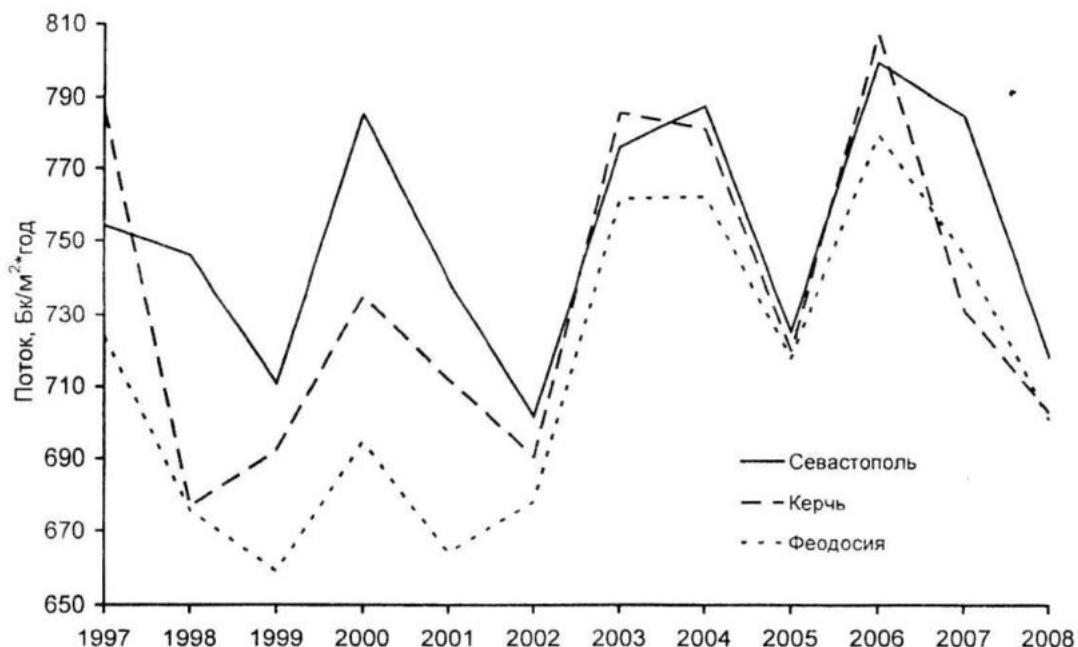


Рис. 2. Многолетняя изменчивость потоков за январь 1997 – декабрь 2008 годов

Таблица 2

Тренды многолетней изменчивости месячных потоков суммарной бета-активности в январе 1997 – 2009 годов

Район	Уравнение	R ²
Севастополь	$y = -0,39x + 64$	0,012
	$y = -0,18x^3 + 4,1x^2 - 27x + 105$	0,38
Керчь	$y = -0,38x + 66$	0,10
	$y = -0,078x^3 + 1,8x^2 - 12x + 84$	0,74
Феодосия	$y = -0,18x + 61$	0,0095
	$y = -0,13x^3 + 2,9x^2 - 18x + 86$	0,64

Таблица 3

Тренды многолетней изменчивости месячных потоков суммарной бета-активности в апреле 1997 – 2008 годов

Район	Уравнение	R ²
Севастополь	$y = 0,82x + 59$	0,24
	$y = -0,059x^3 + x^2 - 3,3x + 62$	0,42
Керчь	$y = 0,36x + 59$	0,052
	$y = -0,25x^2 + 3,6x + 52$	0,29
Феодосия	$y = -0,087x^3 + 1,4x^2 - 5,5x + 64$	0,54
	$y = 0,80x + 55$	0,34

Сравнение данных табл. 2 и 3 показывает, что в районе Севастополя и Феодосии в весенний сезон линейный тренд более устойчив, чем в зимний, и тенденция имеет противоположный характер (в январе тренд отрицательный, а в апреле – положительный). Для района Керчи из-

менчивость в апреле выше, чем в январе.

В летний сезон во всех исследованных районах радиоэкологического мониторинга в Крыму изменчивость потоков была выше, чем в остальные сезоны. В качестве иллюстрации приводятся уравнения для района Феодосии: $y = -0,42x +$

66 ($R^2 = 0,05$); $y = -0,14x^3 + 2,71x^2 - 15,5x + 86$ ($R^2 = 0,48$).

Осенний сезон представлен данными за октябрь 1997 – 2008 годов. Из сравне-

ния осеннего и летнего месяцев следует, что, в отличие от летнего сезона осенью выше изменчивость в районе Феодосии, что подтверждается данными табл. 4.

Таблица 4

Тренды многолетней изменчивости месячных потоков суммарной бета-активности в октябре 1997 – 2008 годов

Район	Уравнение	R^2
Севастополь	$y = 0,68x + 56$	0,21
Керчь	$y = -0,71x + 67$	0,27
	$y = -0,24x^2 + 2,45x + 59$	0,57
Феодосия	$y = 0,60x + 54$	0,081
	$y = -0,34x^2 + 5,02x + 44$	0,33

Коэффициенты детерминированности для линейных трендов в районах Севастополя и Керчи в октябре находятся на уровне соответствующих коэффициентов аналогичных трендов для Севастополя и Феодосии в апреле.

Выводы. 1. В 1997 – 2001 годах величина среднегодового потока уменьшается в направлении Севастополь → Керчь → Феодосия.

2. Значения суточных потоков немонотонно изменялись в пределах $0 – 10,6$ $\text{Бк}/\text{м}^2$ в Севастополе, $0 – 8,7$ $\text{Бк}/\text{м}^2$ в Керчи, $0 – 8,2$ $\text{Бк}/\text{м}^2$ в Феодосии.

3. Значения месячных потоков в Севастополе, Керчи и Феодосии в период мониторинга изменились практически в три раза (от $28,0 – 47,0$ до $77,5 – 85,4$ $\text{Бк}/\text{м}^2 \cdot \text{месяц}$). Максимальные значения наблюдались в Севастополе.

4. Максимальные годовые потоки бета-радионуклидов наблюдались в 1997 году, а минимальные – в 1999 году для всех изученных территорий ($658,7 – 786,3$ $\text{Бк}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$).

5. За период наблюдений 1997 – 2001 годов в целом поток бета-радионуклидов

($\text{Бк}/\text{км}^2$) на территорию Севастополя составил $40,3 \cdot 10^8$, Керчи – $38,9 \cdot 10^7$, Феодосии – $11,9 \cdot 10^7$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябинин А.И., Еркушов В.Ю., Шибаева С.А., Батраков Г.Ф. Пространственно-временная изменчивость выпадений бета-радионуклидов из атмосферы в причерноморских районах юго-восточного Крыма в 2002 – 2009 годах // Системы контроля окружающей среды / Средства, информационные технологии и мониторинг. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2010. – С. 203 – 207.
2. Еришов Э.Б. Распространение коэффициента детерминации на общий случай линейной регрессии, оцениваемой с помощью различных версий метода наименьших квадратов // ЦЕМИ РАН Экономика и математические методы. – Москва: ЦЕМИ РАН, 2002. – В. 3. – Т. 38. – С. 107 – 120.