

# ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЫПАДЕНИЙ БЕТА-АКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ И $^{7}\text{Be}$ В СЕВАСТОПОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Г.Ф. Батраков<sup>1</sup>, Т.В. Чудиновских<sup>1</sup>,  
В.Ю. Еркушов<sup>1</sup>, А.И. Рябинин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: chudtv@alpha.mhi.iuf.net

<sup>2</sup> Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института  
г. Севастополь, ул. Советская, 61

*Рассматривается временная изменчивость потоков гамма-радиоактивного изотопа  $^{7}\text{Be}$  и бета-активных радионуклидов в сухих атмосферных выпадениях в Севастопольском регионе и их применение в качестве индикаторов обменных процессов в атмосфере и гидросфере. Приведены результаты впервые проведенных измерений (2000-2005 гг.) атмосферных выпадений  $^{7}\text{Be}$  в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Севастополя*

**Введение.** В океане и атмосфере содержится целый ряд радиоактивных изотопов, которые используются в качестве трассеров для решения различных метеорологических и океанографических задач. Одним из наиболее перспективных изотопов является  $^{7}\text{Be}$ .

Радионуклид  $^{7}\text{Be}$  образуется при взаимодействии космического излучения с элементами, составляющими верхнюю границу атмосферы [1-3], в частности, с атмосферным азотом по механизмам  $\text{N}^{14}(\text{n},\text{3p5n})\text{Be}^7$ ,  $\text{N}^{14}(\text{p},\text{4p4n})\text{Be}^7$ , а также в небольшой степени  $\text{O}^{16}(\text{p},\text{5p5n})\text{Be}^7$  [4]. Также есть публикация, в которой высказывается предположение о том, что  $^{7}\text{Be}$  имеет солнечное происхождение [5].

В последние годы уделяется значительное внимание поведению  $^{7}\text{Be}$  в приземной атмосфере [6]. Это обусловлено тем, что с помощью этого изотопа исследуются различные процессы в атмосфере: обмен между тропосферой и стратосферой [7], вертикальный транспорт аэрозолей в тропосфере, влияние транспортных траекторий и осадков на состав морских аэрозолей, поступле-

ние озона в тропосферу из стратосферы и т.д.

Изучению поведения  $^{7}\text{Be}$  в океане уделяется меньше внимания, хотя возможности использования этого изотопа в качестве трассера для изучения океанических процессов достаточно широки. В настоящее время имеется всего несколько работ, в которых приводятся данные измерений вертикального распределения в отдельных районах Мирового океана и несколько оценок по этим данным [8]. Всего лишь в одной работе приведена одномерная модель, позволяющая рассчитывать вертикальное распределение  $^{7}\text{Be}$  [9]. Такое большое различие в объемах исследований в атмосфере и океане обусловлено двумя причинами. Во-первых, измерять  $^{7}\text{Be}$  в морской воде гораздо сложнее, чем в атмосфере. Во-вторых, построение математических моделей для  $^{7}\text{Be}$  в океане, из-за очень ограниченного объема данных наблюдений, связано с определенными трудностями.

Для разработки математической модели, позволяющей рассчитывать и прогнозировать поля концентрации  $^{7}\text{Be}$  в Черном море, необходимо в качестве граничного условия задать поток на поверхность моря. Как известно, поступление радиоактивных изотопов на поверхность Земли происходит в результате двух процессов: сухого оседания и вымывания осадками. Следует отметить, что соотношение сухих и мокрых выпадений зависит от региона. В Черноморском регионе данных натурных наблюдений по сухим и мокрым выпадениям не имеется, и нет моделей, позволяющих рассчитывать поток. В связи с этим, мы приступили к исследованиям, на основе которых можно задать граничные условия для математической модели.

**1. Отбор проб и измерение концентрации.** Измерения содержания  $^{7}\text{Be}$  в пробах сухих атмосферных выпадений проводились в период с октября 2000 г. по июнь 2005 гг. Пробы сухих атмосферных выпадений отобраны с применением специального пробоотборника, представляющего собой металлическую кювету с размерами  $70 \times 70 \times 15$  см, на дно которой помещался лист фильтровальной бумаги, пропитанной техническим маслом. Пробоотборник располагался на высоте около 25 м над уровнем моря. Каждая проба отбиралась в течение примерно 2-3 суток при условии отсут-

ствия в этот период атмосферных осадков. По окончании периода отбора слой фильтровальной бумаги извлекался из кюветы, озолялся, зола упаковывалась и поступала на измерение. Измерения гамма-радиоактивности проб сухих атмосферных выпадений проводились на гамма-спектрометре с германий-литиевым детектором и многоканальным анализатором импульсов, который находится в Морском отделении Украинского научно-исследова-

тельского гидрометеорологического института (г. Севастополь).

Измерения активности  $^{7}\text{Be}$  с энергией 477,7 кЭв проводились в интервале спектра энергий 460-480 кЭв с набором импульсов в течение 50-60 минут.

**2. Результаты измерений.** Всего за период исследований было отобрано около 200 проб. Временной ход потока  $^{7}\text{Be}$  за период измерений отображен на рисунке 1.

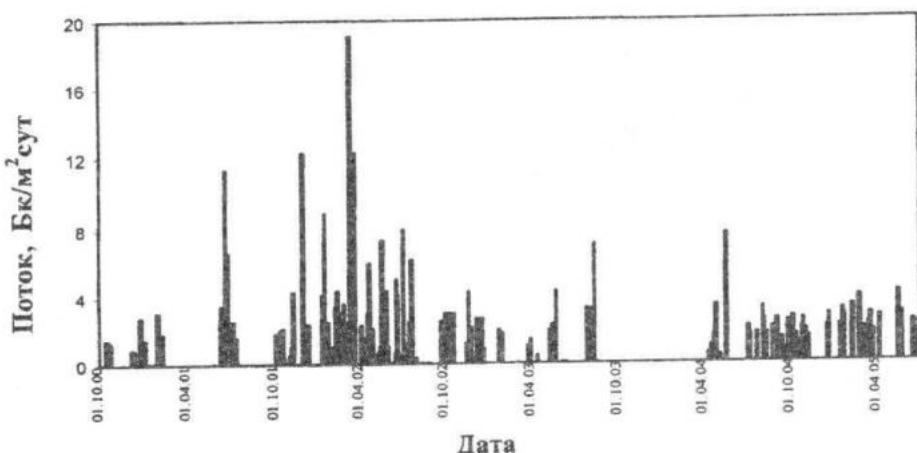


Рис.1 – Временной ход потока  $^{7}\text{Be}$  за период октябрь 2000 - июнь 2005 г.г.

Плотность сухих выпадений  $^{7}\text{Be}$  изменилась от уровня ниже предела чувствительности измерительной аппаратуры (0,02  $\text{Бк}/\text{м}^2\text{сут}$ ) до 19  $\text{Бк}/\text{м}^2\text{сут}$ .

Располагая данными измерений суммарной бета-активности и измерений техноген-

ных радионуклидов в приземной атмосфере, предоставленными Центральной Геофизической Обсерваторией по пяти точкам Крымского полуострова, мы провели анализ ежесуточных измерений для г. Севастополя. Результаты отображены на рисунке 2.

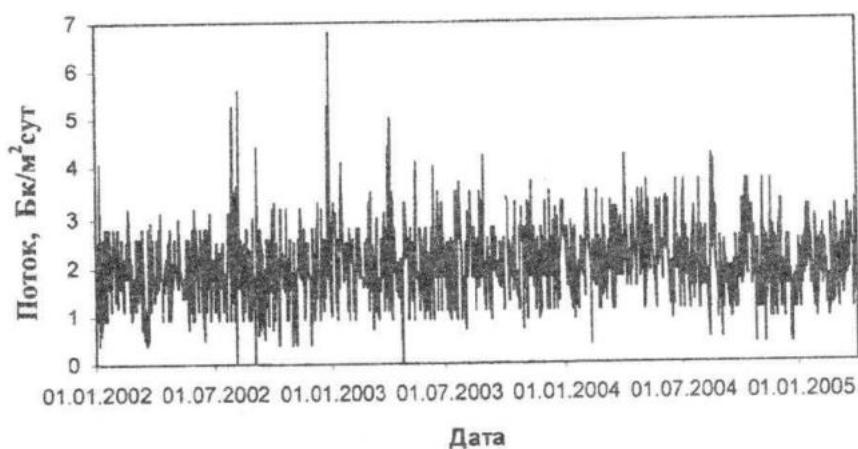


Рис. 2 – Временной ход суммарной бета-активности в приземной атмосфере за период январь 2002 – март 2003 гг. (по данным ЦГО)

Анализ этих результатов показал, что вклад техногенной составляющей радио-

нуclide в суммарную радиоактивность составляет менее 1%. Также была предпри-

нята попытка связать измеренный поток  ${}^7\text{Be}$  с потоком бета-активных атмосферных выпадений. Результат представлен на рисунке

3 и показывает, что не наблюдается устойчивой корреляции между рассматриваемыми величинами.



Рис. 3 – Взаимосвязь потока  ${}^7\text{Be}$  и суммарных бета-активных выпадений (по данным ЦГО)

Сопоставление полученных результатов с данными метеонаблюдений показало, что максимальные потоки  ${}^7\text{Be}$  имели место в хвосте высоких циклонов, верхняя граница которых достигала тропопаузы.

3. Сезонная изменчивость плотности выпадений  ${}^7\text{Be}$ . В работе [10] было показано, что изменчивость концентрации  ${}^7\text{Be}$  в приземном слое воздуха имеет сезонный характер. Максимальные концентрации радионуклида наблюдались в весенне-летний

период и примерно в три раза превышали содержание  ${}^7\text{Be}$  в приземном слое воздуха в осенне-зимний период. На основании этих данных полагалось, что и суммарный поток  ${}^7\text{Be}$  на земную поверхность имеет сезонную изменчивость [9]. Для того, чтобы проверить данное предположение, по результатам наблюдений, выполненных нами, были рассчитаны среднемесячные потоки  ${}^7\text{Be}$  (рисунок 4).

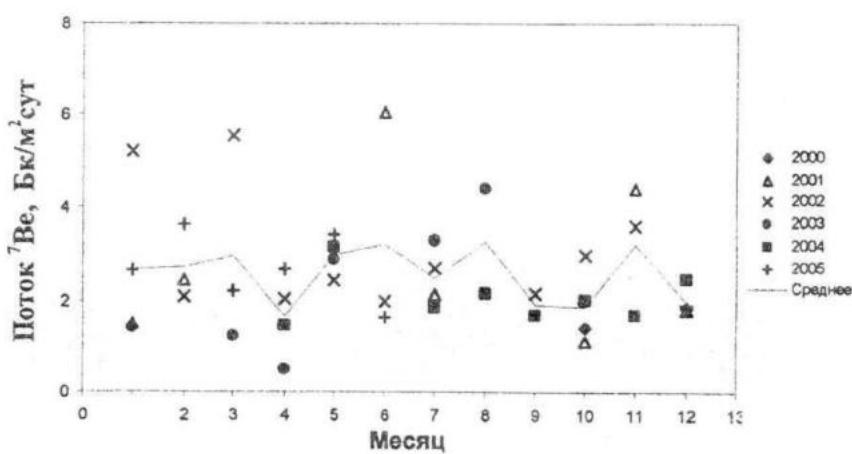


Рис. 4 – Среднемесячные значения потока  ${}^7\text{Be}$  в прибрежной зоне Черного за период 2000 – 2005 гг.

Однако эти результаты не позволяют оценить сезонную изменчивость суммарного потока, поскольку отбирались только «сухие» выпадения. Кроме того, ежемесяч-

ные наблюдения имеются только для одного 2002 года. Поэтому для определения сезонной изменчивости потока были использованы литературные данные. На основа-

нии применения этих данных и имеющихся данных по осадкам были получены расчетные значения для суммарного потока  ${}^7\text{Be}$ .

Соотношение расчетных и измеренных потоков отображено на рисунке 5.

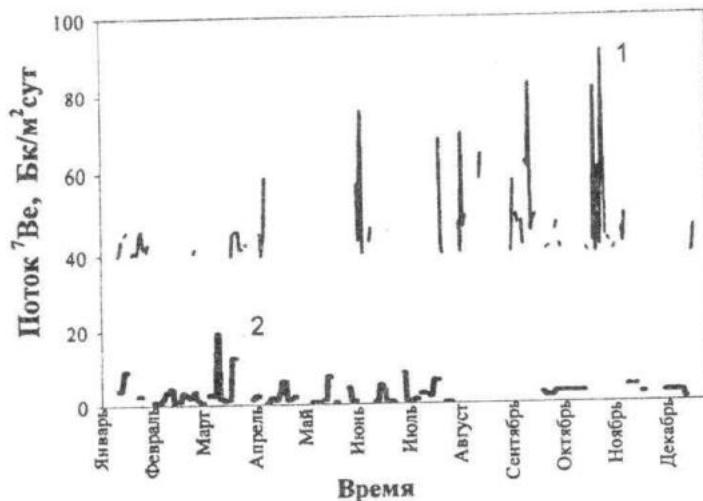


Рис. 5 – Расчетный суммарный поток (1) и измеренные значения «сухих» выпадений (2)  ${}^7\text{Be}$  в 2002 г.

**4. Выводы.** Атмосферные выпадения радиоактивных продуктов определяются в настоящее время наличием в приземном слое воздуха бета-активных продуктов распада изотопов радона и космогенными радионуклидами, среди которых наибольший интерес представляет  ${}^7\text{Be}$ .  ${}^7\text{Be}$  быстро ассоциируется с аэрозолями, и его поступление на земную поверхность определяется количеством осадков и сухим выпадением частиц. Доля  ${}^7\text{Be}$ , поступающего с сухими выпадениями, в общем потоке радионуклида колеблется в довольно широких пределах.

Анализ результатов наблюдений, выполненных в 2000 – 2005 гг., и литературных источников показал, что от 40 до 45% суммарного годового потока  ${}^7\text{Be}$  приходится на три весенних месяца. Такой сезонный ход выпадений обусловлен как более интенсивным обменом между стратосферой и тропосферой в этот период года, так и тем, что в средних широтах на этот сезон приходится от 30 до 35% годового количества осадков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Benioff A. Cosmic-ray production rate and mean removal time of beryllium-7 from the atmosphere. – Phys. Rev. – 1956. – V.104, N 4. – P. 1122–1128.
2. Lal D., Malhotra P.K., Peters B. On production of radioisotopes in the atmosphere by cosmic radiation and their application to meteor-
- ology. – J. Atmosph. and Terresphys. – 1958. – V.12. – P. 306 –310.
3. Lal D., Arnold J., Honda M. Cosmic-Ray production rates of Be-7 in oxygen and P-32, P-33, S-35 in argon at monition altitudes. – Phys. Rev. – 1960. – V.118, N 6. – P. 16 –26.
4. Природные изотопы гидросфера. – Под ред. Ферронского В.И. – Москва: Недра. – 1975. – 278 с.
5. Кужевский Б.М. Объект исследований – Солнце. – Наука в России. – 2002. – № 4. – С. 4–11.
6. Шакина Н.П., Кузнецова И.Н., Иванова А.Р. Анализ случаев атмосферных вторжений, сопровождаемых повышением радиоактивности в приземном воздухе. – Метеорология и гидрология. – 2000. – № 2. – С. 53 –59.
7. Dibb J.E., Meeker L.D., Fiukel R.C. et.al. Estimation of stratospheric input to the Arctic troposphere:  ${}^7\text{Be}$  and  ${}^{210}\text{Pb}$  in aerosols at Alert, Canada. – J.Geophys.Res. – 1994. – V.99. – P. 12,855 – 12,864.
8. Батраков Г.Ф., Еремеев В.Н., Копырин А.А., Митропольский А.Ю. Бериллий-7 в водах океанов и морей. – Препринт института геологических наук – Киев. – 1978.
9. Виноградов А.С. Вертикальная диффузия в океане космогенных изотопов. – Океанология. – 1978. – Т.XVIII, вып.1. – С. 50 – 57.
10. Гедеонов Л.И. Радиоактивность внешней среды. – Атомная энергия. – 1972. – Т.33, вып.2. – С. 145–152.