

# АТМОСФЕРНЫЙ ПОТОК $^7\text{Be}$ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

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](mailto:chudtv@alpha.mhi.iuf.net)

<sup>2</sup>Морское отделение Украинского научно-  
исследовательского гидрометеорологиче-  
ского института

г. Севастополь, ул. Советская, 61

*Приведены результаты впервые проведенных измерений (2000 – 2004 гг.) атмосферных выпадений  $^7\text{Be}$  в прибрежной зоне Черного моря в районе г. Севастополя. Анализируется влияние состояния приземного слоя атмосферы (температура воздуха, атмосферное давление) на изменчивость потока  $^7\text{Be}$ .*

**Введение.** Согласно ряду работ [1-3]  $^7\text{Be}$  образуется в атмосфере Земли при взаимодействии атомных ядер элементов, составляющих воздушную оболочку, и потоком заряженных частиц. В последние годы появились работы, в которых высказывается предположение о том, что  $^7\text{Be}$  имеет солнечное происхождение [4]. Из теоретических расчетов следует, что концентрация бериллия в атмосфере Солнца, возможно, определяется радиоактивным изотопом  $^7\text{Be}$ . В связи с этим он присутствует в солнечном ветре и проникает через полярные области в атмосферу Земли.

Образующийся в атмосфере или поступающий с солнечным ветром  $^7\text{Be}$  в виде атомов или молекул окисляется и адсорбируется на аэрозолях. В такой форме достаточно быстро удаляется из атмосферы при конденсации влаги в нижних слоях тропосферы. На земную поверхность  $\text{Be-7}$  попадает в виде «мокрых» и «сухих» выпадений.

Исследования поведения  $^7\text{Be}$  в атмосфере и верхнем слое океана представляют большой интерес и находят применение при решении ряда задач, наиболее интересными среди которых, на наш взгляд, являются:

- исследования обмена между тропосферой и атмосферой [5];

- тестирование моделей, описывающих транспорт континентального воздуха над океанами [6];

- исследование влияния транспортных траекторий и выпадающих осадков на состав морских аэрозольных частиц [7];

- исследование вертикального транспорта аэрозолей в тропосфере [8];

- изучение вертикального обмена вод в океане [9].

В исследовании глобальных процессов взаимодействия океана и атмосферы все большее внимание уделяется исследованию случаев масштабного вторжения воздушных стратосферных масс в приземные слои атмосферы, влияющих на ее физико-химические характеристики. Характерным индикатором наличия подобных явлений служит резкое, иногда в десятки раз, повышение концентрации радионуклида  $^7\text{Be}$  у земной поверхности [10].

Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованиям поведения  $^7\text{Be}$  в атмосфере, целый ряд вопросов остаются невыясненными. В частности, до сих пор имеет место очень большой разброс оценок вклада сухих выпадений в суммарный поток  $^7\text{Be}$  на земную поверхность для одних и тех же регионов.

Целью данной работы была оценка величины потока  $^7\text{Be}$  с сухими выпадениями на земную поверхность в г. Севастополе, его временной изменчивости, взаимосвязи с различными метеорологическими ситуациями.

## Отбор проб и измерение концентрации.

Пробы сухих выпадений аэрозольных частиц отбирались с помощью металлической кюветы размером 70×70 см, в которую помещалась фильтровальная бумага, пропитанная маслом. Кювета располагалась на крыше здания МГИ НАНУ на высоте порядка 30 м над уровнем моря. Отбор каждой пробы проводился в течение 2-3 суток в периоды отсутствия осадков. После отбора пробы фильтровальная бумага озолжалась, зола упаковывалась в полиэтилен и поступала на измерение. Измерения проводились на гамма-спектрометре с германиево-литиевым детектором и анализатором импульсов NUC-8010, которые находятся в Морском отделении УкрНИГМИ.

**Результаты измерений.** Измерения  $^7\text{Be}$  в пробах сухих выпадений проводились с октября 2000 г. по июнь 2004 г. Всего за

период исследований было отобрано около 200 проб. На рисунке 1 приведена времен-

ная изменчивость содержания  $^7\text{Be}$  в пробах аэрозолей.

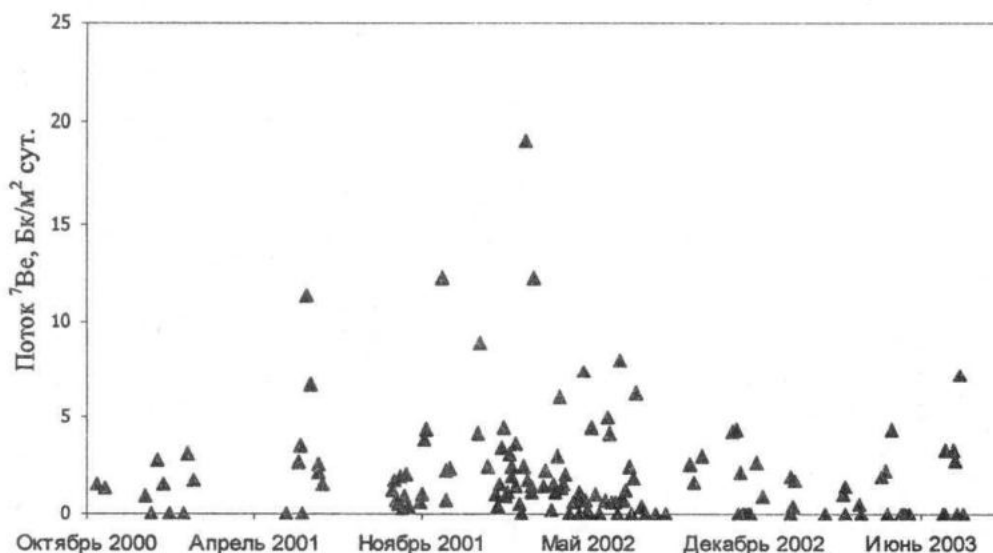


Рис. 1 – Временная изменчивость потока  $^7\text{Be}$  из атмосферы в прибрежной зоне Черного моря

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

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

потоком  $^7\text{Be}$  и давлением в приземном слое атмосферы (рис. 3а), которая аппроксимируется уравнением

$$y = -0,1051x + 82,444$$

Зависимость потока  $^7\text{Be}$  от температуры воздуха не была обнаружена (рис. 2б).

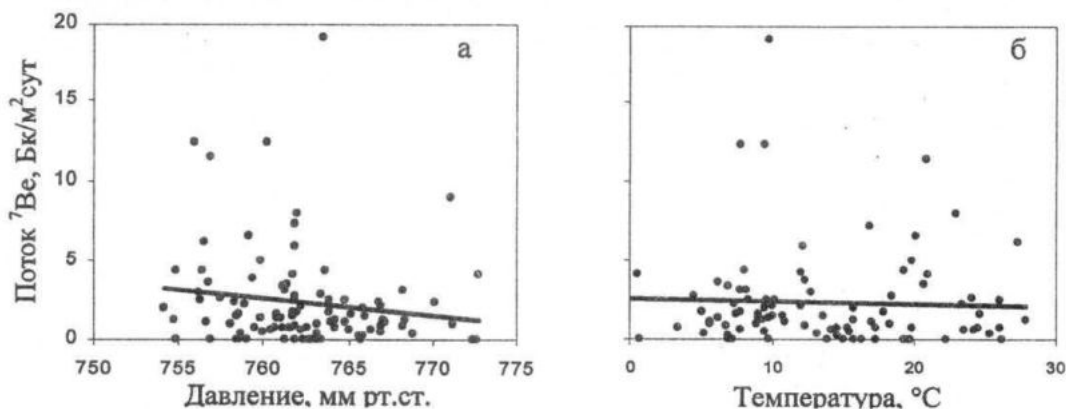


Рис. 2 – Зависимость потока  $^7\text{Be}$  из атмосферы от давления (а) и температура (б) приземного слоя воздуха

Сезонная изменчивость плотности выпадений  $^7\text{Be}$ . В течение длительного периода Л.И.Геденовым [11] проводились измерения концентрации  $^7\text{Be}$  в приземном слое атмосферы. Им было установлено, что изменения концентрации  $^7\text{Be}$  носят сезонный

характер. Максимальные значения концентрации наблюдались в весенне-летний период и примерно в три раза превышали содержание радионуклида в приземном слое воздуха в осенне-зимний период. На основании этих данных полагалось, что и сум-

марный поток  $^7\text{Be}$  на земную поверхность имеет сезонную изменчивость [9]. Однако данное предположение не является обоснованным. Поэтому представляет интерес получение сезонной зависимости суммарного потока по данным наблюдений за плотностью выпадения  $^7\text{Be}$ . По результатам наблюдений, выполненных нами, были рассчитаны среднемесячные потоки  $^7\text{Be}$

(рис.3). Однако эти результаты не позволяют оценить сезонную изменчивость суммарного потока, поскольку собирались только сухие выпадения. Кроме того, ежемесячные наблюдения имеются только для одного 2002 года. Поэтому для определения сезонной изменчивости потока были использованы литературные данные.

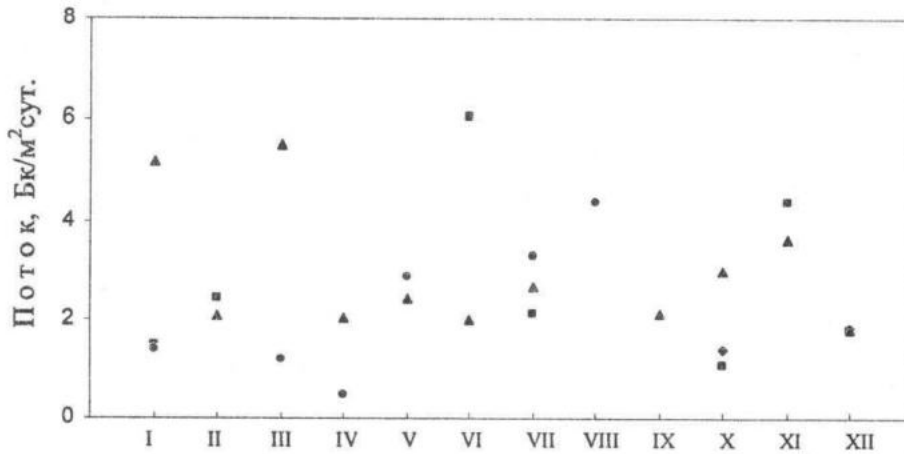


Рис. 3 – Среднемесячные значения потока  $^7\text{Be}$  в прибрежной зоне Черного моря:  
◆ - 2000 г., ■ - 2001 г., ▲ - 2002 г., ● - 2003 г

Несмотря на то, что измерений концентрации и плотности выпадений  $^7\text{Be}$  выполнено достаточно много, но для получения сезонного хода суммарных выпадений наиболее подходящими являются данные, по-

лученные Олсенем и др. в Норфолке и Оук Ридже [12]. Результаты оценок, выполненных по данным, приведенным в работе, показаны на рис.4.

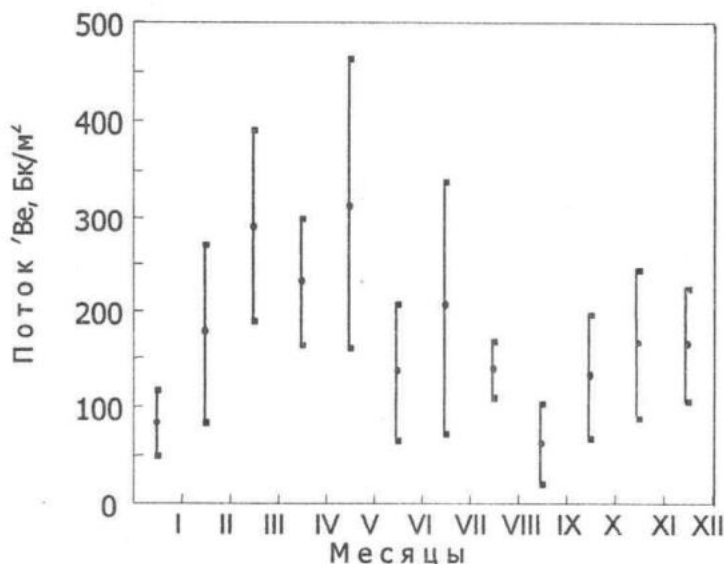


Рис. 4 - Сезонные изменения потока  $^7\text{Be}$  в Норфолке и Оук Ридже (рассчитано по данным [12])

Из полученных оценок следует, что максимальный поток  $^7\text{Be}$  имеет место в апреле – мае, а минимальный – в сентябре и их величины различаются между собой в 4 раза.

**Обсуждение.** Хотя  $^7\text{Be}$  преимущественно образуется в стратосфере, Даткевич и Хусейн [13] показали, что в приземном слое воздуха только 25%  $^7\text{Be}$  имеют стратосферное происхождение. Обусловлено это тем, что время нахождения аэрозолей в стратосфере составляет около года, тогда как период полураспада  $^7\text{Be}$  равен 53 дням. Стратосферный источник, однако, может становиться более значительным весной, когда средне-широтное сжатие тропопаузы приводит к увеличению обмена между стратосферой и тропосферой, а также во время грозы, когда происходит разрыв тропопаузы [14, 15]. Тропосферное продуцирование и вымывание  $^7\text{Be}$  приводит к достаточно однородному его распределению в приземном слое воздуха. Концентрации изотопа изменяются от  $1,85 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup> в арктических и экваториальных областях с высокой стабильностью атмосферы до  $5,55 \cdot 10^{-3}$  Бк/м<sup>3</sup> в областях средних широт в весенний период [16].

Космогенные радионуклиды, и  $^7\text{Be}$  в том числе, быстро ассоциируются с аэрозолями, и их поступление на земную поверхность определяется количеством осадков и сухим выпадением частиц. Доля  $^7\text{Be}$ , поступающего с сухими выпадениями, в суммарном потоке радионуклида колеблется в довольно широких пределах.

Анализ полученных результатов 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 не только более интенсивным обменом между стратосферой и тропосферой в этот период года, но 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., Malchotra P.K., Peters B. On production of radioisotopes in the atmosphere by cosmic radiation and their application to meteorology. – 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. Кужевский Б.М. Объект исследований – Солнце. – Наука в России. – 2002. – №4. – С.4-11.
5. 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.
6. Balkanski Y.J., Jacob D.J., Gardner C.M., et.al. Transport and residence times of tropospheric aerosols inferred from a global three-dimensional simulation. – J. Geophys. Res. – 1993. – V.98, – P.20,573 – 20,586.
7. Arimoto R., Snow J.A., Graustein W.C., et.al. Influences of atmospheric transport pathways on radionuclide activities in aerosol particles from over the North Atlantic. – J. Geophys. Res. – 1999. – V.104, No D 17. – P.21301 – 21316.
8. Koch D.M., Jacob D.J., and Graustein W.C. Vertical transport of tropospheric aerosols as indicated by  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in a chemical tracer model. – J. Geophys. Res. – 1996. – V.101. – P.18,651 – 18,666.
9. Виноградов А.С. Вертикальная диффузия в океане космогенных изотопов. – Океанология. – 1978. – Т. XVIII, вып. 1. – С.50 – 57.
10. 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.
11. Гедеонов Л.И. Радиоактивность внешней среды. – Атомная энергия. – 1972. – Т.33, вып.2. – С.145 – 152.
12. Olsen C.R., Larsen I.L., Lowry P.D., et.al. Atmospheric fluxes and marsh-soil inventories of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$ . – J. Geophys. Res. – 1985. – V.90, No D6. – P.10,487 – 10,495.
13. Dutkiewicz N.H. and Husain L. Stratospheric and tropospheric components of  $^7\text{Be}$  in surface air. – J. Geophys. Res. – 1985. – V.90. – P.5783 – 5788.
14. Burchfield L.A., Akridge J.D., and Kuroda P.K. Temporal distributions of radiostrontium isotopes and radon daughters in rainwater during a thunderstorm. – J. Geophys. Res. – 1983. – V.88. – P.8579 – 8584.
15. Noyce J.R., Chen T.S., Moore D.T., et.al. Temporal distributions of radioactivity and  $^{89}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$  ratios during rainstorms. – J. Geophys. Res. – 1971. – V.76. – P.646 – 656.
16. Feely H.  $^7\text{Be}$  in surface air. – In: Environmental Measurements Laboratory Annual Report Calendar Year 1980, DOE/eml-392. – Edited by H.L. Volchoc. – Environmental Measurements Laboratory. – New York. – 1981. – P.7-8.