

⁷Be И ПОСТУПЛЕНИЕ СТРАТОСФЕРНЫХ ВОЗДУШНЫХ МАСС В ПРИЗЕМНУЮ АТМОСФЕРУ

Г.Ф. Батраков, Т.В. Чудиновских

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

Севастополь, ул. Капитанская, 2

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

В статье приведены результаты измерения концентрации в приземном слое атмосферы и величины потока ⁷Be с сухими выпадениями на земную поверхность в Севастопольском регионе. Исследовано влияние давления, температуры, влажности и количества осадков на величину потока ⁷Be. Показано, что прохождение высоких циклонов приводит к резкому увеличению потока ⁷Be на земную поверхность.

Введение. Образующийся в атмосфере или поступающий с солнечным ветром ⁷Be [1 – 4] 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 ⁷Be попадает в виде «мокрых» и «сухих» выпадений.

Исследования поведения ⁷Be 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 изучению 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 ⁷Be у земной поверхности [10].

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

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

Аппаратура и методика измерений. 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 активности ⁷Be с энергией 477,7 кЭв проводились в интервале спектра энергий 460 – 480 кЭв с набором импульсов в течение 50 – 60 минут. Относительная статистическая погрешность измерения активности проб составляет порядка 20 %. Нижний предел обнаружения ⁷Be 0,2 Бк.

Результаты измерений. Измерения ⁷Be в пробах сухих выпадений проводились с октября 2000 г. по август 2007 г. Всего за период исследований было отобрано около 300 проб. На рисунке 1 приведена временная изменчивость содержания ⁷Be в пробах аэрозолей.

Плотность сухих выпадений ⁷Be изменялась от уровня ниже предела чувствительности измерительной аппаратуры (0,02 Бк/м²сут.) до 19 Бк/м²сут.

Сопоставление полученных результатов с данными метеонаблюдений показало, что максимальные потоки ⁷Be имели место в хвосте высоких циклонов, верхняя граница которых достигала тропопаузы. Наблюдается корреляционная зависимость между потоком ⁷Be и давлением в приземном слое

атмосферы (рисунок 2а), которая аппроксимируется уравнением

$$y = -0,1051x + 82,444. \quad (1)$$

Зависимость потока ^7Be от температуры воздуха не была обнаружена (рисунок 2б).

Зависимость поступления ^7Be от количества осадков имеет линейный вид (рисунок 3) и может быть выражена уравнением

$$y = 5,52x + 34,06 \quad (2)$$

Начиная с 2007 года параллельно с измерением плотности выпадений ^7Be проводились измерения концентрации этого изотопа в приземном слое атмосферы (рисунок 3а). Диапазон изменения концентрации – от 0,6 до 5,0 мБк/м³.

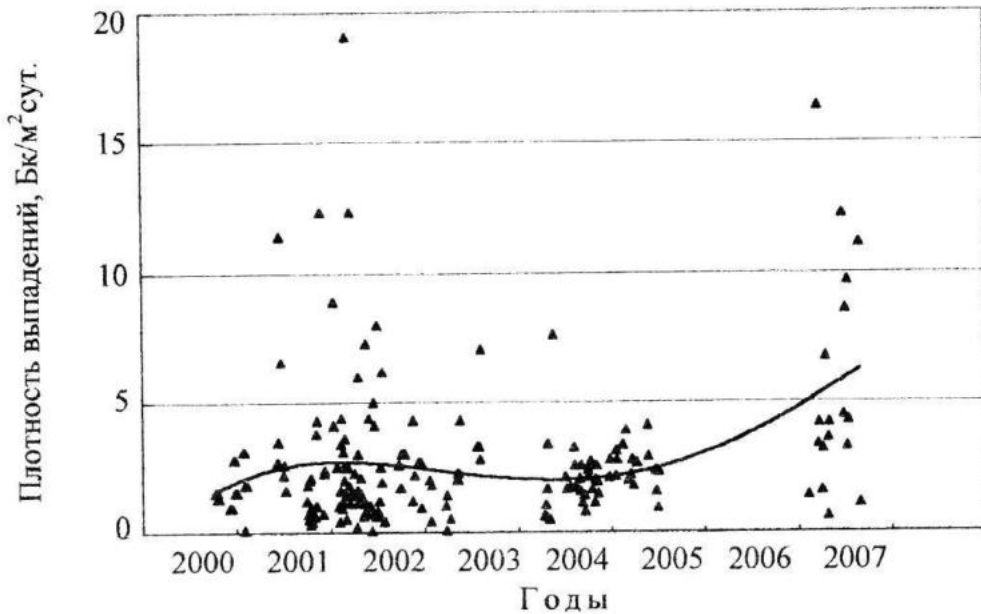


Рисунок 1 – Временная изменчивость плотности выпадений ^7Be из атмосферы в Севастопольском регионе

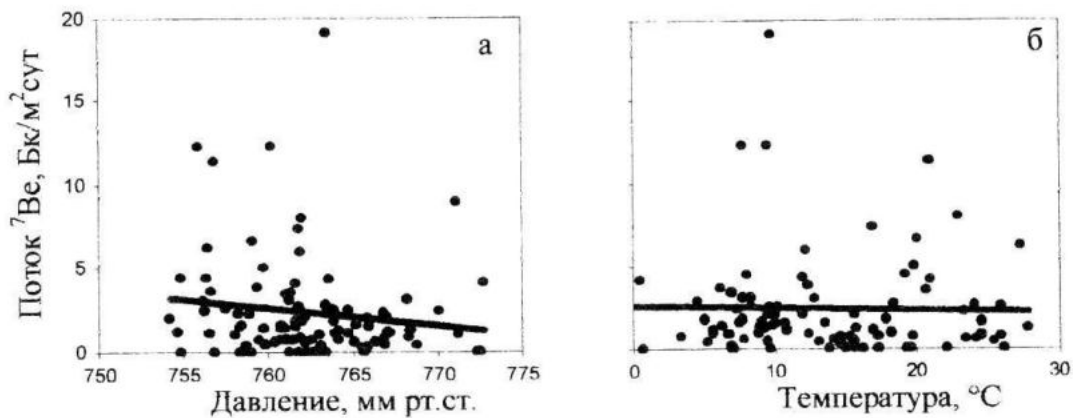


Рисунок 2 – Зависимость потока ^7Be из атмосферы от давления (а) и температуры (б) приземного слоя воздуха

Из результатов, приведенных на рисунке 3, видно, что существует хорошо выраженная сезонная изменчивость концентрации ^7Be в приземном слое атмосферы. Максимальные значения содержания бериллия наблюдаются в зимний период. Аналогич-

ные измерения в течение длительного периода проводились Л.И. Гедеоновым [11] в районе Ленинграда. Им также было установлено, что изменения концентрации ^7Be носят сезонный характер. Максимальные значения концентрации, по его данным, на-

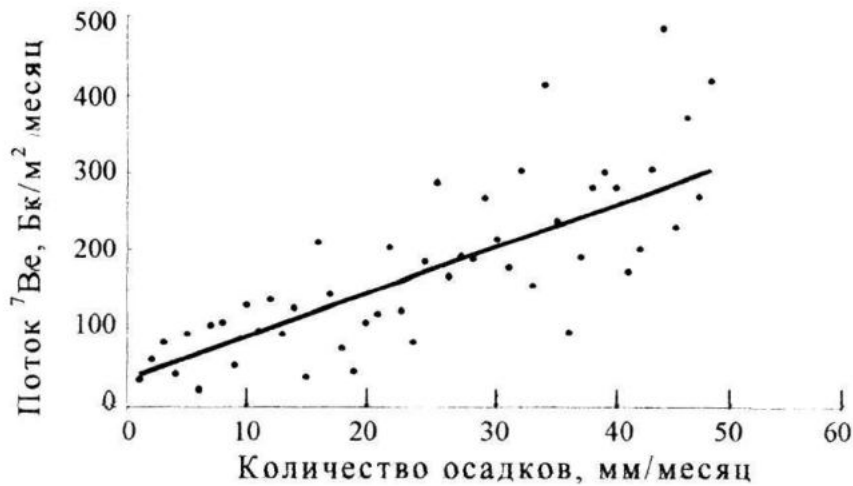


Рисунок 3 – Зависимость потока ⁷Ве от среднемесячного количества осадков

блюдались 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 суммарный поток ⁷Ве на земную поверхность имеет сезонную изменчивость [9]. Однако данное предположение не является обоснованным и в наших исследованиях пока не получило подтверждения.

Обсуждение результатов. Анализ данных наблюдений позволяет говорить о большой временной изменчивости активности ⁷Ве. В отдельные дни исследованного периода отмечались значительные всплески потоков активности, достигших максимальной величины 19 Бк/м²×сут в марте 2002 года.

Для выявления причин резкого увеличения потоков активности ⁷Ве в приземном воздухе в отдельные периоды, были проанализированы синоптические условия над Европой в эти дни и в дни, когда ⁷Ве не обнаруживался. Для анализа использовался немецкий архив синоптических совмещенных карт высотной топографии (уровень 500 ГПа) и приземного барического поля над Европой.

Анализ карт выявил резкие отличия в структуре распределения высотного и приземного барического поля над Европой в периоды высоких концентраций радионуклида ⁷Ве в приземном воздухе г. Севастополя и в периоды его очень низких концентраций (рисунок 4).

В те дни, когда уровни активности нуклида в атмосферных выпадениях были ни-

же предела обнаружения полупроводникового гамма-спектрометра, распределение как высотного поля давления, так и приземного над Европой носило ярко выраженную зональную направленность с преобладанием длинных

Хотя ⁷Ве преимущественно образуется в стратосфере, Даткевич и Хусейн [13] показали, что в приземном слое воздуха только 25 % ⁷Ве имеют стратосферное происхождение. Обусловлено это тем, что время нахождения аэрозолей в стратосфере составляет около года, тогда как период полураспада ⁷Ве равен 53 дням. Стратосферный источник, однако, может становиться более значительным весной, когда среднеширотное 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 ⁷Ве приводит к достаточно однородному его распределению в приземном слое воздуха. Концентрации изотопа изменяются от $1,85 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ в арктических и экваториальных областях с высокой стабильностью атмосферы до $5,55 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³ в областях средних широт в весенний период [16].

Космогенные радионуклиды, и ⁷Ве в том числе, быстро ассоциируются с аэрозолями, и их поступление на земную поверхность определяется количеством осадков и сухим выпадением частиц. Доля ⁷Ве, 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 ^7Be 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.

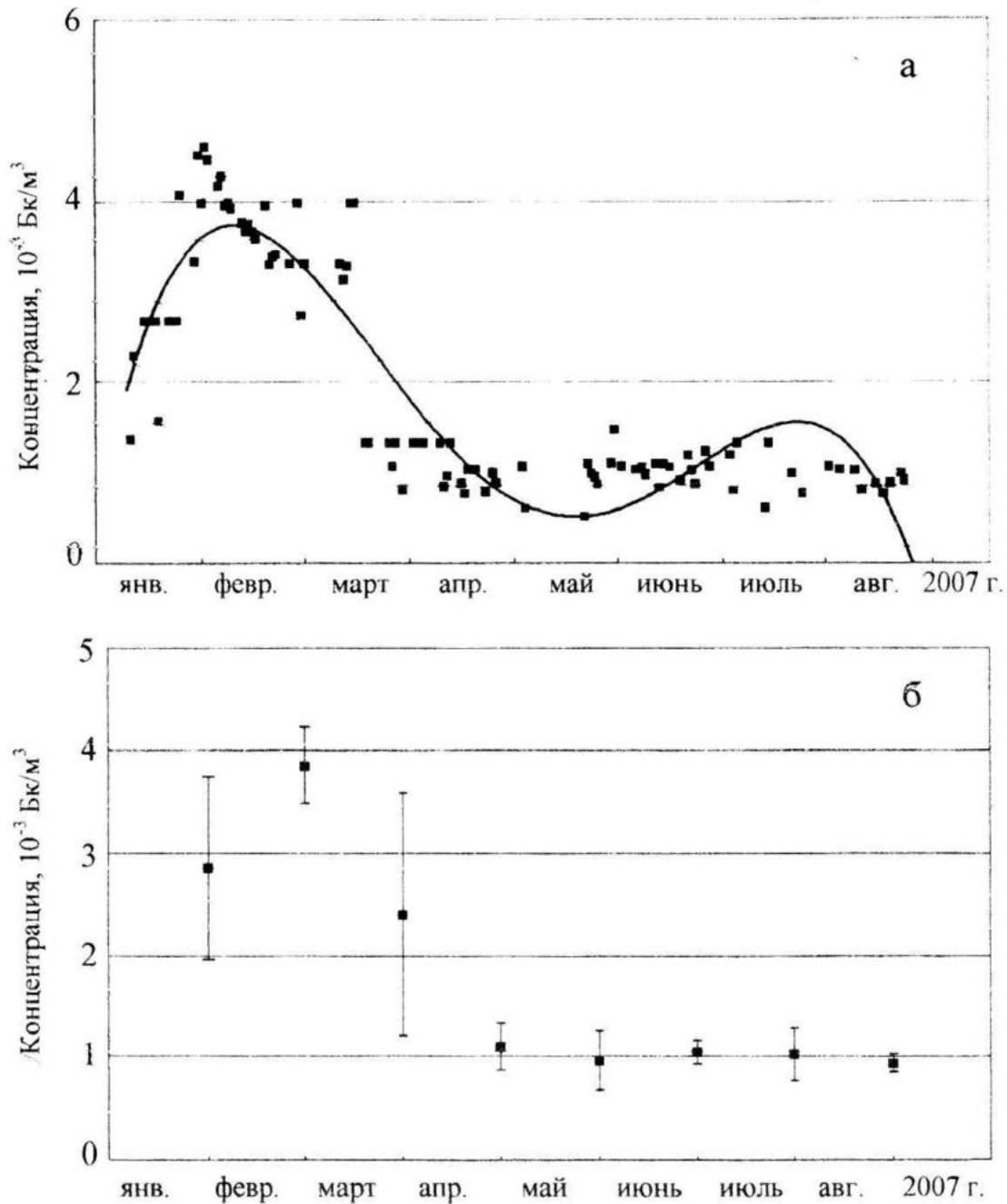


Рисунок 3 – Временная изменчивость (а) и среднемесячные значения (б) концентрации ^7Be в приземном слое атмосферы Севастопольского региона

Анализ полученных данных позволяет говорить о большой временной изменчивости активности ^7Be . В отдельные дни исследованного периода отмечались значительные всплески потоков радиоактивного бериллия, достигших максимальной вели-

чины $19 \text{ Бк/м}^2 \times \text{сут}$ в марте 2002 года.

Для выявления причин резкого увеличения потоков активности ^7Be в приземном воздухе в отдельные периоды, были проанализированы синоптические условия над Европой в эти дни и в дни, когда ^7Be не об-

наруживался. Для анализа использовался немецкий архив синоптических совмещенных карт высотной топографии (уровень 500 гПа) и приземного барического поля над Европой. Всего было проанализировано 75 карт, связанных с днями, когда радионуклид вообще не обнаруживался и 48 карт, связанных с периодами высокой активности радионуклида в атмосферных выпадениях.

Анализ карт выявил резкие отличия в структуре распределения высотного и приземного барического поля над Европой в периоды высоких концентраций радионуклида Be-7 в приземном воздухе г. Севастополя и в периоды его очень низких концентраций. В те дни, когда уровни активности

нуклида в атмосферных выпадениях были ниже предела обнаружения полупроводникового гамма-спектрометра, распределение как высотного поля давления, так и приземного над Европой носило ярко выраженную зональную направленность с преобладанием длинных волн малой амплитуды. Такой характер распределения давления над Северным полушарием, как известно, приводит к меньшей вероятности разрывов в тропопаузе и препятствует проникновению больших масс стратосферного воздуха, насыщенного радионуклидами космогенного происхождения, в нижние слои тропосферы.

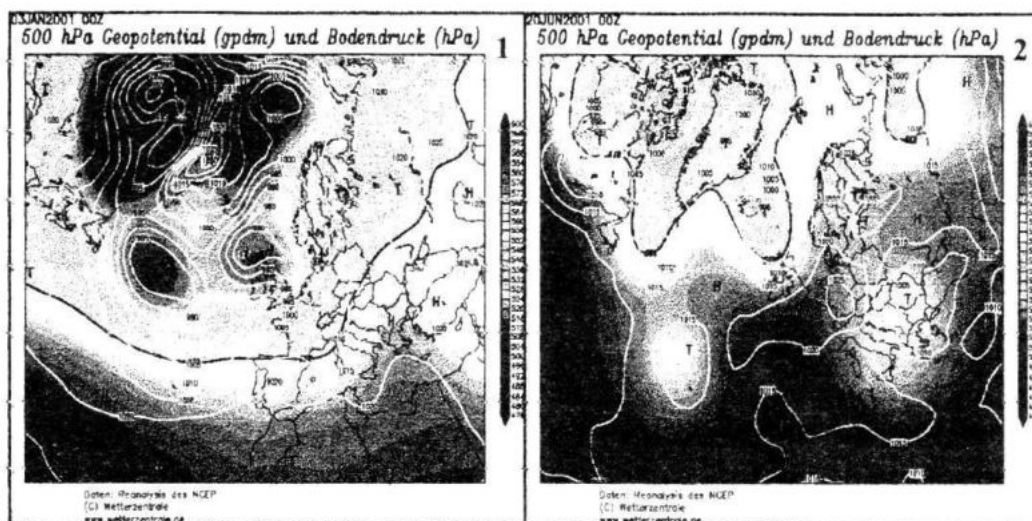


Рисунок 4 – Совмещенные карты высотной топографии (уровень 500 ГПа) и приземного барического поля

- 1 – ярко выраженная меридиональность (в барическом поле наблюдаются короткие волны большой амплитуды), 2 – ярко выраженная зональная направленность с преобладанием длинных волн малой амплитуды.

В те периоды, когда отмечалось резкое увеличение активности Be-7 в пробах атмосферных выпадений, над Европой наблюдалось развитие ярко выраженной меридиональности (в барическом поле наблюдаются короткие волны большой амплитуды), и, как правило, это способствовало проникновению холодных масс воздуха в тылу хорошо развитых высотных ложбин далеко на юг, в том числе на все Черное море, достигая восточного Средиземноморья. В результате часто наблюдалось формирование высотных циклонов в регионе. Именно такая синоптическая ситуация способствовала большей вероятности проникновения Be-7 из стратосферного резервуара в приземные

слои воздуха, что по-видимому и приводило в отдельные дни к резким всплескам (в десятки раз) активности выпадений приземного воздуха в г. Севастополе.

Заключение. Данные анализа атмосферной циркуляции в периоды исследования активности атмосферных выпадений в г. Севастополе, подтверждают научные выводы других исследователей, отмечающих связь резких всплесков приземной радиоактивности с формированием и прохождением через район узкопрофильных глубоких ложбин.

Таким образом, с большой долей уверенности можно говорить о стратосферном происхождении ⁷Be в периоды его высокой

активности в пробах атмосферных выпадений г. Севастополя. Можно предположить, что как минимум во всем Черноморском регионе в эти периоды также отмечалось увеличение концентрации радионуклидов в приземном воздухе, что могло сказаться на увеличении общего гамма-фона у земли.

Очевидно, что необходимость данных исследований и их результаты особенно важны при проведении радиационного контроля при эксплуатации АЭС, других предприятий, связанных с использованием и переработкой ядерного топлива и материалов. Любое возрастание гамма-фона вблизи данных объектов вызывает тревогу населения и персонала, должно контролироваться, быть объяснено и спрогнозировано.

Выводы. Плотность выпадения ^7Be в приземном слое атмосферы изменяется в широком диапазоне – от 0 до 19 Бк/м²сутки.

Наблюдается корреляционная зависимость между потоком ^7Be и давлением в приземном слое атмосферы.

Между суммарным поступлением ^7Be на поверхность и количеством осадков наблюдается линейная зависимость.

Прохождение высоких циклонов приводит к резкому увеличению потока ^7Be на земную поверхность.

Л и т е р а т у р а

1. A. Benioff. 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. D. Lal, P.K. Malchotra, B. Peters. 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. D. Lal, J. Arnold, M. Honda. 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 гидросферы. – Под ред. В.И. Ферронского. – Москва. Недра. – 1975. – 278 с.

5. J.E. Dibb, L.D. Meeker, R.C. Fiukel, et. al. Estimation of stratospheric input to the Arctic troposphere: ^7Be and ^{210}Pb in aerosols at Alert, Canada. – J. Geophys. Res. – 1994. – V.99. – P. 12,855 – 12,864.

6. Y.J. Balkanski, D.J. Jacob, C.M. Gardner, 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. R. Arimoto, J.A. Snow, W.C. Graustein, 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. D.M. Koch, D.J. Jacob and W.C. Graustein. Vertical transport of tropospheric aerosols as indicated by ^7Be and ^{210}Pb in a chemical tracer model. – J. Geophys. Res. – 1996. – V. 101. – P.18,651 – 18,666.

9. А.С. Виноградов. Вертикальная диффузия в океане космогенных изотопов. – Океанология. – 1978. – Т. XVIII, вып. 1. – С. 50 – 57.

10. Н.П. Шакина, И.Н. Кузнецова, А.Р. Иванова. Анализ случаев атмосферных вторжений, сопровождаемых повышением радиоактивности в приземном воздухе. – Метеорология и гидрология. – 2000. – № 2. – С. 53 – 59.

11. Л.И. Геденов. Радиоактивность внешней среды. – Атомная энергия. – 1972. – Т. 33, вып. 2. – С. 145 – 152.

12. C.R. Olsen, I.L. Larsen, P.D. Lowry et. al. Atmospheric fluxes and marsh-soil inventories of ^7Be and ^{210}Pb . – J. Geophys. Res. – 1985. – V. 90, No D6. – P. 10,487 – 10,495.

13. N.H. Dutkiewicz and L. Husain. Stratospheric and tropospheric components of ^7Be in surface air. – J. Geophys. Res. – 1985. – V. 90. – P. 5783 – 5788.

14. L.A. Burchfield, J.D. Akridge and P.K. Kuroda. Temporal distributions of radiostrontium isotopes and radon daughters in rainwater during a thunderstorm. – J. Geophys. Res. – 1983. – V. 88. – P. 8579 – 8584.

15. J.R. Noyce, T.S. Chen, D.T. Moore et. al. Temporal distributions of radioactivity and $^{86}\text{Sr}/^{90}\text{Sr}$ ratios during rainstorms. – J. Geophys. Res. – 1971. – V. 76. – P. 646 – 656.

16. H. Feely. ^7Be in surface air. – In: Environmental Measurements Laboratory Annual Report Calendar Year 1980, DOE/eml – 392. Ed. by H.L. Volchoc. – Environmental Measurements Laboratory. – New York. – 1981. – P. 7 – 8.