

Д.А.Кременчуцкий, Г.Ф.Батраков

*Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь***ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОСТУПЛЕНИЯ БЕРИЛЛИЯ-7 ( ${}^7\text{Be}$ )  
НА ПОДСТИЛАЮЩУЮ ПОВЕРХНОСТЬ В СЕВАСТОПОЛЕ**

Представлены результаты мониторинга концентрации  ${}^7\text{Be}$  в приземной атмосфере и в атмосферных выпадениях, проводимого в Севастопольском регионе за период с 2011 по 2015 гг. Исследована внутригодовая изменчивость измеряемых параметров за период наблюдений. Также обсуждаются вопросы, связанные с прогнозированием поступления  ${}^7\text{Be}$  из атмосферы на подстилающую поверхность. Для осадков с различным характером выпадения исследована зависимость между коэффициентом вымывания  ${}^7\text{Be}$ , их количеством и интенсивностью.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бериллий-7 ( ${}^7\text{Be}$ ), приземная атмосфера, ливневые осадки, обложные осадки, коэффициент вымывания, Севастополь

Бериллий-7 ( ${}^7\text{Be}$ ) – это радионуклид космогенного происхождения с периодом полураспада 53,3 суток. Он образуется в атмосфере в результате взаимодействия первичного и вторичного космического излучения с атомами кислорода и азота. Из атмосферы на подстилающую поверхность он выводится с сухими и влажными атмосферными выпадениями. В большинстве регионов Земли относительный вклад сухих выпадений в суммарную годовую величину потока радионуклида не превышает 15 % [1]. Исключением являются регионы, в которых осадки в течение года практически отсутствуют или отсутствуют вовсе. Таким образом, поток радионуклида с влажными атмосферными выпадениями является его основным источником поступления на земную поверхность и, в частности, в морскую среду.

Бериллий-7 широко используется в качестве трассера при валидации моделей глобальной циркуляции атмосферы [2], при исследовании процессов субдукции и истории перемешивания слоев водных масс [3], для оценки коэффициента вертикальной турбулентной диффузии [1], для оценки скорости выведения тяжелых металлов и взвешенного вещества из водной толщи [1] и т.д. Данные о пространственно-временной изменчивости величины потока  ${}^7\text{Be}$  на морскую поверхность необходимы при задании граничных условий в транспортных моделях.

Измерения содержания радионуклида в приземной атмосфере и атмосферных выпадениях проводятся на более чем сотни станций, расположенных в различных регионах Земли. Большая часть этих станций функционирует в рамках программы по глобальному мониторингу, проводимому Организацией по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (СВТО, Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization). В черноморском регионе ряды наблюдений ограничены результатами проводимого нами мониторинга.

Факторы, управляющие временной изменчивостью поступления  ${}^7\text{Be}$  на подстилающую поверхность хорошо известны и описаны в работе [1]: тип,

количество и частота выпадения осадков, а также концентрация радионуклида в атмосфере. В тоже время, функциональные зависимости между величиной потока  ${}^7\text{Be}$  на подстилающую поверхность и рядом этих факторов требуют проверки и уточнений, либо вовсе не были получены.

В работе [4] нами была представлена функциональная зависимость коэффициента вымывания от количества и частоты выпадающих осадков с учетом содержания  ${}^7\text{Be}$  в атмосфере. Результаты проведенной валидации этой параметризации показали, что она позволяет корректно воспроизводить динамику поступления радионуклида на подстилающую поверхность, а для  $\sim 83\%$  данных натуральных наблюдений величина отклонения рассчитанных величин от измеренных не превышала величину доверительного интервала, обусловленного погрешностью определения констант в уравнении и погрешностью измерения активности проб. В то же время нам не удалось выявить причину, по которой часть данных наблюдений не описывались этой параметризацией. Для этих точек величина отклонения рассчитанных величин от измеренных изменялась в интервале от 1,6 до 2,5. Было сделано предположение, что причина в различии характера выпадения этих осадков (ливневые и обложные).

Целью этой работы являлось выявление особенностей поступления  ${}^7\text{Be}$  в Севастопольском регионе для осадков с различным характером выпадения и получение зависимости между коэффициентом вымывания  ${}^7\text{Be}$ , количеством и интенсивностью осадков.

**Материалы и методы.** Мониторинг содержания  ${}^7\text{Be}$  в приземной атмосфере и в атмосферных выпадениях Севастопольского региона проводится, начиная с июля 2011 г. Пробы атмосферных аэрозолей и влажных атмосферных выпадений отбираются раз в сутки. Пробы суммарных атмосферных выпадений отбираются 1 – 2 раза в месяц. Пробоотборники расположены на крыше здания Морского гидрофизического института РАН. Измерения активности  ${}^7\text{Be}$  в пробах проводятся на низкофономом гамма-спектрометре с сцинтилляционным детектором *NaI(Tl)*. Величина погрешности измерений не превышала 20 %. За период с 2011 по 2015 гг. было отобрано и обработано 68 проб суммарных атмосферных выпадений, 190 проб влажных атмосферных выпадений и 1030 проб атмосферных аэрозолей.

До 2015 г. определение интенсивности выпадающих осадков не проводилось. Начиная с 2015 г., измерения количества и интенсивности выпадающих осадков проводится с помощью автоматической метеостанции фирмы *Davis* модель *vantage pro2*, расположенной на крыше здания института.

**Результаты и обсуждения.** За период наблюдений концентрация  ${}^7\text{Be}$  в приземной атмосфере варьировалась в интервале от 0,3 до 12,9 мБк/м<sup>3</sup>, средняя величина  $4,6 \pm 0,5$  мБк/м<sup>3</sup>. Максимум концентрации наблюдается в весенне-летний период, минимум концентрации – в зимний.

Концентрация  ${}^7\text{Be}$  в осадках варьировалась в интервале от 0,2 до 15 Бк/л, средняя величина  $2,3 \pm 0,5$  Бк/л. Максимальные величины потока наблюдались в зимний период, минимальные – в летний. Максимальные величины концентрации радионуклида в осадках наблюдались в весенний период, минимальные – в осенний. Относительный вклад сухих выпадений от месяца к месяцу изменялся в интервале от 5 до 100 %, средняя величина относитель-

ного вклада сухих выпадений в суммарную за год величину потока  ${}^7\text{Be}$  не превышала 15 %. Полученные результаты хорошо согласуются с данными наблюдений, полученными на ряде станций в средних широтах Северного полушария [5, 6].

Используя результаты мониторинга, были выполнены оценки коэффициента вымывания  ${}^7\text{Be}$  по формуле:

$$\lambda = \frac{C_{Pr} \cdot R}{Pr \cdot C_a}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент вымывания  ${}^7\text{Be}$ ,  $\text{час}^{-1}$ ;  $C_{Pr}$  – концентрация  ${}^7\text{Be}$  в осадках,  $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $R$  – интенсивность осадков,  $\text{м} \cdot \text{час}^{-1}$ ;  $Pr$  – количество выпавших осадков,  $\text{м}$ ;  $C_a$  – концентрация  ${}^7\text{Be}$  в атмосфере,  $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ .

По результатам расчетов для осадков обложного характера выпадения была получена зависимость коэффициента вымывания от их количества (рис.1, а). Согласно представленным результатам, при эквивалентном объеме влажных атмосферных выпадений ливневые осадки характеризуются пониженной ( $\sim 2$  раза) величиной коэффициента вымывания.

Поток вещества на подстилающую поверхность с дождевыми осадками можно оценить по формуле:

$$P = \lambda \cdot C_a \cdot Pr, \quad (2)$$

где  $P$  – поток в  $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ .

Из формулы (2) следует, что величина потока с ливневыми осадками при прочих равных условиях меньше  $\sim 2$  раза.

Получена зависимость коэффициента вымывания  ${}^7\text{Be}$  от интенсивности выпадающих осадков (рис.1, б). Было показано, что увеличение интенсивности выпадения осадков приводит к уменьшению коэффициента вымывания. Для осадков обложного характера выпадения было показано наличие линейной зависимости между их количеством и интенсивностью (рис.1, в).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 16-05-00206, 14-45-01539.

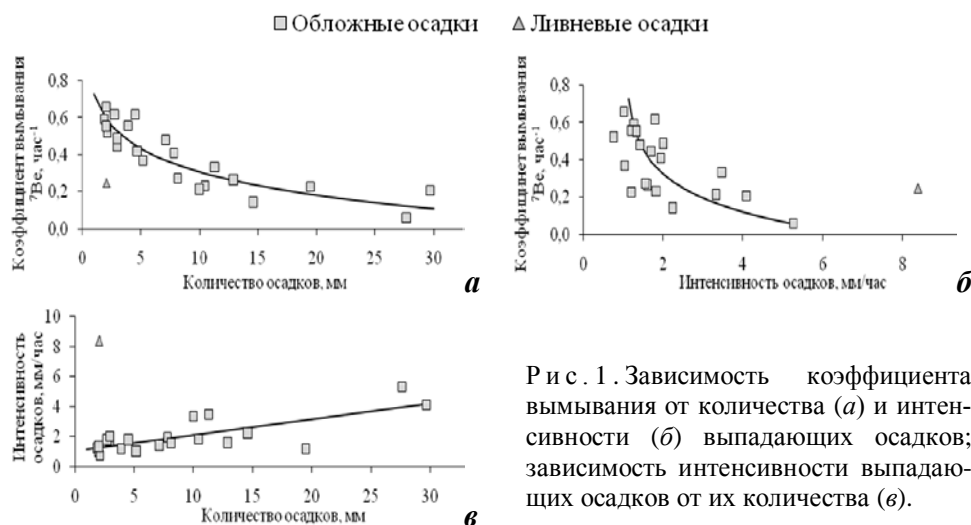


Рис. 1. Зависимость коэффициента вымывания от количества (а) и интенсивности (б) выпадающих осадков; зависимость интенсивности выпадающих осадков от их количества (в).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry / Series: Advances in Isotope Geochemistry*. Baskaran, Mark (Ed.).– Springer, 2011.– 951 p.
2. *Brost R.A., Feichter J., Heimann M.* Three-dimensional simulation of  $^7\text{Be}$  in a global climate model // *J. Geophys. Res.*– 1991.– 96(D12).– P.22423-22445.
3. *Kadko D., Olson D.* Beryllium-7 as a tracer of surface water subduction and mixed-layer history // *Deep Sea Res. Part I: Oceanographic Research Papers.*– 1996.– v.43, № 2.– P.89-116.
4. *Кременчуцкий Д.А., Коновалов С.К., Батраков Г.Ф., Станичный С.В.* Пространственно-временная изменчивость поступления бериллия-7 ( $^7\text{Be}$ ) на поверхность Черного моря // *Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод»*. Часть 2. Ростов н/Д, 8-10 сентября 2015 г.– Ростов н/Д, 2015.– С.247-251.
5. *Lozano R.L., San Miguel E.G., Bolívar J.P., Baskaran M.* Depositional fluxes and concentrations of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in bulk precipitation and aerosols at the interface of Atlantic and Mediterranean coasts in Spain // *J. Geophys. Res.*– 2011.– v.116.– D18213.
6. *Feely H.W., Larsen R.J., Sanderson C.G.* Factors that cause seasonal variations in beryllium-7 concentrations in surface air // *J. Environmental Radioactivity.*– 1989.– v.9, iss.3.– P.223-249.

Материал поступил в редакцию 12.02.2016 г.

D.A.Kremenchutskii, G.F.Batnikov

#### TEMPORAL VARIABILITY OF DEPOSITION OF BERYLLIUM-7( $^7\text{Be}$ ) ON THE UNDERLYING SURFACE IN SEVASTOPOL

The paper presents the results of  $^7\text{Be}$  concentrations monitoring in the surface atmosphere and in the rain water in Sevastopol region from 2011 to 2015. Interannual variability of these parameters over the observation period is studied. The issues related to forecasting of  $^7\text{Be}$  deposition from the atmosphere to the underlying surface are discussed. The relationship between the  $^7\text{Be}$  scavenging coefficient, amount and intensity of precipitation are investigated for the different nature of rainfall.

KEYWORDS: *Beryllium-7 ( $^7\text{Be}$ ), surface atmosphere, heavy rains, heavy precipitation, scavenging coefficient, Sevastopol*