

# <sup>7</sup>Be В ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЕ ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

*Д.А. Кременчукский*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины,  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: d.kremenchutsky@gmail.com*

*В статье приведены результаты измерения концентрации <sup>7</sup>Be в морской воде в районе г. Севастополя и п. Кацивели. Исследована связь между изменением концентрации взвеси в отобранных пробах и изменением концентрации <sup>7</sup>Be на частицах взвеси. Выполнен предварительный анализ факторов, ответственных за наблюдаемую временную изменчивость содержания бериллия в исследуемых регионах.*

**Введение.** Бериллий-7 (<sup>7</sup>Be) – это радионуклид космогенного происхождения ( $T_{1/2} = 53,3$  суток), который образуется в атмосфере в результате взаимодействия потока космических лучей (первичного и вторичного) с атомами кислорода и углерода. Из атмосферы на морскую поверхность бериллий поступает с сухими и влажными атмосферными выпадениями. Суммарная концентрация <sup>7</sup>Be в поверхностном слое вод мирового океана варьируется от 1 до 13 Бк/м<sup>3</sup>. Относительное содержание изотопа на частицах взвеси может изменяться от 0 до 100% от его суммарной концентрации [1 - 6]. Вертикальное распределение бериллия, в целом, повторяет профиль температуры [4 - 6].

Научный интерес к <sup>7</sup>Be обусловлен возможностью использования радионуклида в качестве трассера для исследования физических и биогеохимических процессов в морской среде, а также валидации гидродинамических моделей циркуляции водных масс [3].

Согласно опубликованным данным, исследования содержания и вертикального распределения <sup>7</sup>Be в водах Черного моря никогда не проводились.

Целью данной работы явилось исследование связи между содержанием <sup>7</sup>Be на частицах взвеси и концентрацией взвеси, а также анализ факторов, кото-

рые влияют на временную изменчивость содержания <sup>7</sup>Be в шельфовой зоне Черного моря.

**Методы измерений.** Для преконцентрирования растворенного <sup>7</sup>Be из морской воды использовались полипропиленовые картриджи импрегнированные гидроксидом железа. Для преконцентрирования бериллия, содержащегося на частицах взвеси, морская вода пропускалась через полипропиленовый картридж с размером пор в 1 мкм. Объем прокаченной воды изменялся от 1,0 до 4,5 м<sup>3</sup>, время отбора 1 пробы от 4 до 18 часов. Погрешность измерений, в целом, определялась статистической погрешностью счета активности проб и изменялась от 13 до 55 %. Более подробно методические аспекты изложены в [10].

**Анализ и обсуждение полученных результатов.** В период с мая по август 2012 г. было выполнено две серии отбора проб морской воды: одна серия непосредственно у берега в районе г. Севастополя и одна серия с океанографической платформы в п. Кацивели, Крым, Украина (~0,5 км от берега). Всего было отобрано и обработано 53 (36 в Кацивели и 17 в г. Севастополе) пробы с определением концентрации растворенного и содержащегося на частицах взвеси <sup>7</sup>Be. Согласно полученным результатам, концентрация растворенного <sup>7</sup>Be в поверхностном слое вод изменялась от 0,6 до 4,4 Бк/м<sup>3</sup>, средняя  $2,0 \pm 0,52$  Бк/м<sup>3</sup>; концентрация радионуклида на частицах взвеси изменялась от 0,35 до 1,3 Бк/м<sup>3</sup>, средняя  $0,7 \pm 0,18$  Бк/м<sup>3</sup>. Средняя суммарная концентрация бериллия по результатам измерений в п. Кацивели  $2,9 \pm 0,65$  Бк/м<sup>3</sup>, в г. Севастополе  $2,6 \pm 0,75$  Бк/м<sup>3</sup>, за весь период наблюдений  $2,7 \pm 0,7$  Бк/м<sup>3</sup>. В п. Кацивели было также получено два профиля распределения концентрации изотопа с глубиной с интервалом в 4 дня: концентрация растворенного <sup>7</sup>Be уменьшается от  $1,7 \pm 0,31$  до  $0,1 \pm 0,21$ ; концентрация <sup>7</sup>Be содержащегося на частицах взвеси с глубиной практически не изменялась и составляла в среднем  $0,6 \pm 0,1$  Бк/м<sup>3</sup>; суммарная концентрация изменялась от  $2,25 \pm 0,41$  до  $0,45 \pm 0,29$  Бк/м<sup>3</sup>. Таким образом, полученные величины не противоречат литературным данным [1 – 9].

Используя информацию об изменении массы префильтра до и после отбора проб, а также об объеме прокаченной воды, была рассчитана концентрация взвеси в воде. В поверхностном слое величина концентрации взвеси изменялась от 0,6 до 2,3 мг/л, средняя – 1,2 мг/л. На глубине 23 м., концентрация взвеси изменилась от 1,1 до 1,6 мг/л, средняя – 1,4 мг/л.

Массовая концентрация  $^{7}\text{Be}$  на взвеси изменялась от 325 до 1184 Бк/кг взвеси, средняя величина – 580 Бк/кг взвеси. В статье [11] сообщаются результаты измерений выполненных в шельфовой зоне на севере Калифорнии в различные сезоны года. Согласно представленным данным, концентрация радионуклида на частицах взвеси изменялась от 20 до 534 Бк/кг. Таким образом, полученные нами величины, в целом, не противоречат литературным.

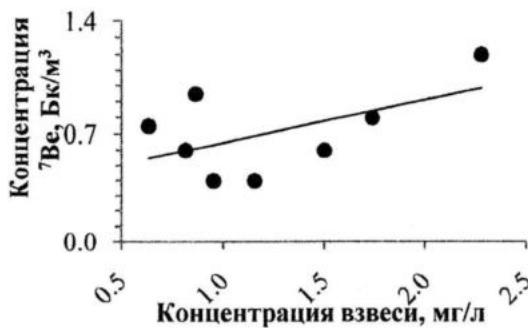
Наблюдается статистически значимая корреляционная связь между изменением объемной концентрации  $^{7}\text{Be}$  на частицах взвеси и изменением концентрации последней ( $r = 0,54$ ;  $p = 0,95$ ). Существует статистически значимая обратная корреляционная зависимость между изменением массовой концентрации  $^{7}\text{Be}$  на частицах взвеси и изменением концентрации последней ( $r = -0,57$ ;  $p = 0,95$ ). Таким образом, увеличение содержание взвеси приводит к росту объемной концентрации берилля на ней (рис. 1), но, в тоже время, количество радионуклида, содержащегося на единичной массе взвеси уменьшается (рис. 2). Корреляционный анализ показал, наличие обратной, статистически значимой, корреляционной связи между изменением относительного вклада объемной концентрации берилля на частицах взвеси и изменением концентрации последней ( $r = -0,6$ ;  $p = 0,95$ ).

Величина относительного вклада объемной концентрации изотопа на частицах взвеси изменяется в широком интервале от 13 до 52 %, средняя величина 26 %. Наблюдается относительное уменьшение это вклада с увеличением расстояния от берега: от 13 до 42 %, средняя – 22 %, в севастопольском регионе и от 21 до 52 %, средняя – 29 % по данным с океанографической платформой

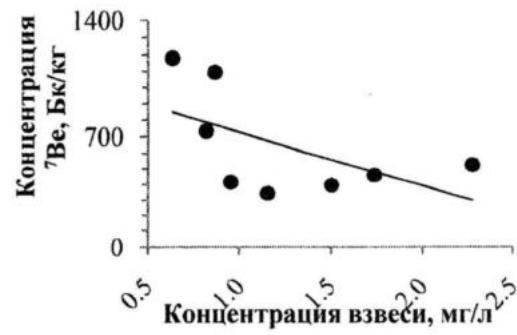
(рис. 3). Полученный результат согласуется с оценками, полученными для Атлантического океана в работе [12], в которой было показано, что в глубоководных районах океана в верхнем 150 метровом слое вод содержанием  $^{7}\text{Be}$  на частицах взвеси можно пренебречь т.к. она не оказывает существенного вклада в суммарную концентрацию радионуклида. В тоже время в прибрежных районах взвешенная форма радионуклида может превышать 50% общего содержания его в морской воде.

Вертикальное распределение суммарной концентрации  $^{7}\text{Be}$  аналогично профилю температуры (рис. 4 и рис. 5). Вариация содержания  $^{7}\text{Be}$  в поверхностном однородном слое не превышает погрешности измерений и быстро убывает в слое термоклина. От поверхности до дна концентрация взвеси увеличивается, массовая концентрация радионуклида на частицах взвеси может изменяться в два раза (от 735 Бк/кг в поверхностном слое до 325 Бк/кг в придонном слое), а вариация объемной концентрация радионуклида на частицах взвеси с глубиной не превышает погрешности измерения. В тоже время, концентрация растворенного берилля от поверхности до дна изменяется на порядок.

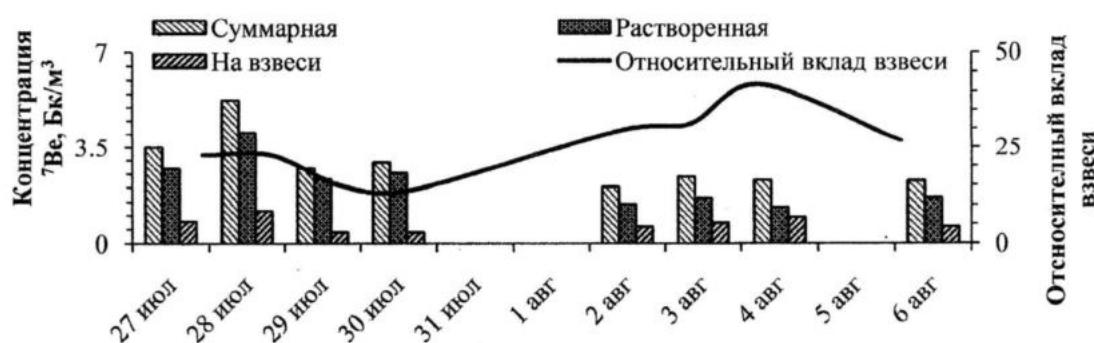
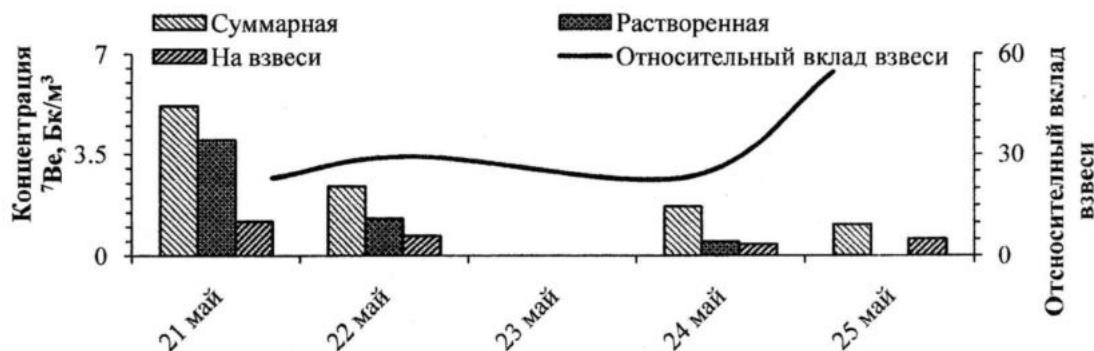
Для оценки суточного хода содержания берилля-7 было отобрано 4 поверхностных пробы на следующий день после случаев выпадения осадков (24 и 25 мая; 2 и 6 августа), и 1 во время и в течение последующих 3 часов (21 мая). Во всех пробах, которые были отобраны на следующий день после осадков, концентрация радионуклида существенным образом не отличалась от фонового значения, наблюдаемого в предыдущие или последующие дни. Концентрация берилля в пробе, отобранный во время выпадения осадков, превышала фоновое значение в 2–3 раза. В тоже время, в ряде проб (27 и 28 июля), которые были отобраны в период отсутствия влажных атмосферных выпадений в исследуемом регионе, наблюдалась относительно повышенные величины концентрации берилля, что может быть связано с адвективным переносом водных масс из региона, в котором наблюдались обильные осадки.



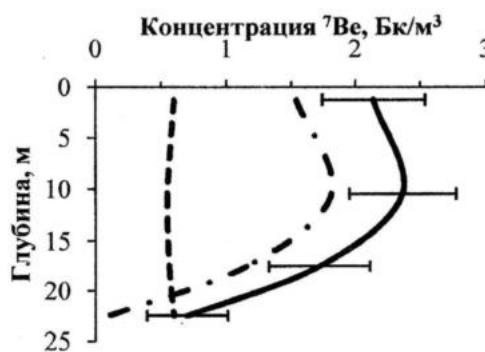
Р и с. 1. Зависимость объемной концентрации  ${}^7\text{Be}$  от концентрации взвеси



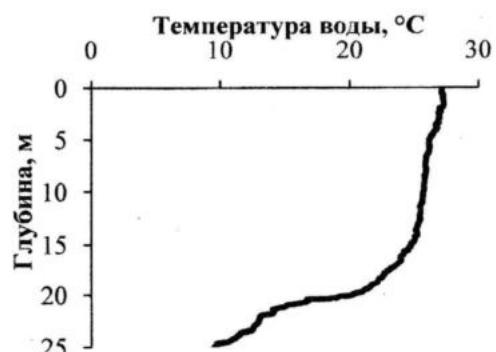
Р и с. 2. Зависимость массовой концентрации  ${}^7\text{Be}$  от концентрации взвеси



Р и с. 3. Временная изменчивость концентрации  ${}^7\text{Be}$  по результатам измерений в г. Севастополе (верхний) и в п. Каивели (нижний)



Р и с. 4. Вертикальное распределение концентрации  ${}^7\text{Be}$ : суммарная (сплошная линия), растворенная (пунктир-точка) и на взвеси (пунктирная линия)



Р и с. 5. Профиль температуры воды в точке исследования

**Заключение.**  $^{7}\text{Be}$  в шельфовой зоне Черного моря находится как в растворенном состоянии, так и на частицах взвеси. Относительный вклад объемной концентрации радионуклида на частицах взвеси составляет в среднем 26 %. Наблюдается тенденция уменьшения этого вклада при отдалении от берега. При увеличении концентрации взвеси объемная концентрация изотопа на ней увеличивается, массовая концентрация – уменьшается, а, в последствие, происходит уменьшение относительного вклада объемной концентрации изотопа на частицах взвеси в суммарную концентрацию  $^{7}\text{Be}$ .

Показано, что распределение концентрации радионуклида в верхнем перемешанном слое можно считать однородным. Вертикальное распределение  $^{7}\text{Be}$ , в целом, аналогично профилю температуры.

Изменение объемной концентрации  $^{7}\text{Be}$  с глубиной происходит в результате радиоактивного распада и перераспределения между растворенной и адсорбированной на частицы взвеси частями.

Наиболее вероятными факторами, определяющими изменения поверхностной концентрации  $^{7}\text{Be}$  в исследуемых районах являются изменения потока изотопа и адвективный перенос водных масс.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andrews J.E., Hartin C., Buesseler K.O.  $^{7}\text{Be}$  analyses in seawater by low background gamma-spectroscopy // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 277, No.1. – 2008. – P. 253–259.
2. Gosink I.A. On the use of cosmogenic radionuclides of beryllium for ocean transport studies // Mar. Sci. Comm. – 1976a. – V. 2, No 6. – P. 413–417.
3. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Series: Advances in Isotope Geochemistry. Baskaran, Mark (Ed.). – Springer. – 2011. – 951 p.
4. Nakanishi T., Kusakabe M., Aono T., Yamada M. Simultaneous measurements of cosmogenic radionuclides  $^{32}\text{P}$ ,  $^{33}\text{P}$  and  $^{7}\text{Be}$  in dissolved and particulate forms in the upper ocean // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 279, No.3 (2009) 769 – 776.
5. Silker W.B. Beiyllum-7 and fission products in the Geosecs II water column and applications of their oceanic distributions // Earth and Planetary Sc. Letters. – 1972. – Vol. 16. – P. 131 – 137.
6. Silker W.B. Horizontal and vertical distributions of radionuclides in the North Pacific ocean // J. of Geophysical Research. – 1972. – Vol. – 77. – No. – 6. – P. 1061 – 1070.
7. Lan D. An overview of five decades of studies of cosmic ray produced nuclides in oceans // The Science of the Total Environment. – 1999. – V. 238. – P. 3 – 13.
8. Kadko D. and Olson D. Beryllium-7 as a tracer of surface water subduction and mixed-layer history // Deep-Sea Research. –1996. – Vol. 43. – No. 2. – P. 89 – 116.
9. Kadko D., Johns W. Inferring upwelling rates in the equatorial Atlantic using  $^{7}\text{Be}$  measurements in the upper ocean // Deep-Sea Research. – 2011. – Vol. 58. – No. 1. – P. 647 – 657.
10. Кременчуцкий Д.А., Батраков Г.Ф., Семенов В.В.  $^{7}\text{Be}$  в прибрежной зоне Черного моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2011. – Вып. 16. – С. 251 – 257.
11. Sommerfeld C.K., Nittrouer C.A., Alexander C.R.  $^{7}\text{Be}$  as a tracer of flood sedimentation on the northern California continental margin // Continental Shelf Res. – 1999. – Vol. 19. – P. 335 – 361.
12. Lee T., Barg E., Lal D. Studies of vertical mixing in the Southern California Bight with cosmogenic radionuclides  $^{32}\text{P}$  and  $^{7}\text{Be}$  // Limnol. Oceanogr. – 1991. – Vol. 36. – No. 5. – P. 1044 – 1053.