

Lazorenko GE, Polikarpov GG, Romanova ZA, Kideys AE 2003.

Accumulation of natural radionuclide polonium by zooplankton organisms of the Black Sea.

Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine, #1: 185-190.

УДК 546.79:594.124 (262.5)

© 2003

Г. Е. Лазоренко, академик НАН Украины Г. Г. Поликарпов,  
З. А. Романова, А. Е. Кидейс

## Аккумуляция природного радиоэлемента полония зоопланктонными организмами Черного моря

*The first results of  $^{210}\text{Po}$  determination in the total mesozooplankton and in the representative species of the macroplankton community of the Black Sea, echnophore *Beroe ovata*, are presented. In 2000-2001, the range of  $^{210}\text{Po}$  concentrations in the mesozooplankton was 1.71-3.5 Bq/kg wet weight.  $^{210}\text{Po}$  concentrations in *B. ovata* were 1.18-2.91 Bq/kg wet weight. The order of  $^{210}\text{Po}$  concentration factors by the investigated species is  $10^4$ . The comparison of these data with the known ones from other marine regions is given. The study was carried out in the framework of the IAEA technical cooperative project RER/2003 «Marine Environmental Assessment in the Black Sea Region».*

При изучении способности морских организмов накапливать природный радиоэлемент полоний (Po, атомный номер 84) исследуют поведение одного из 33 его изотопов, а именно  $^{210}\text{Po}$  с периодом полураспада в 138,4 дня. Попадая на поверхность морей и океанов, в основном из атмосферы, как продукт распада радона,  $^{210}\text{Po}$  тогда активно включается в биогеохимические процессы [1]. Первой ступенью в биологическом транспорте  $^{210}\text{Po}$  в морских экосистемах служит планктон [1]. Благодаря своей метаболической активности, морской зоопланктон играет особенно важную роль в выносе этого радионуклида из поверхностных вод в глубинные слои морей [2]. Аккумуляционная способность морских зоопланктонных организмов в отношении  $^{210}\text{Po}$  исследована для различных районов Мирового Океана [1]. Регион Черного моря в этом плане оставался неизученным до последнего времени.

Цель настоящей работы состояла в проведении исследований наиболее массовых видов черноморского зоопланктона для оценки их способности накапливать  $^{210}\text{Po}$  из морской среды и последующего сравнительного анализа на основании известных данных для других морских регионов.

Объектами исследований были суммарный мезозоопланктон Черного моря и представитель желетелого макропланктона — безлопастный гребневик *Beroe ovata* Mayer, 1912 (берое). Всего исследовано 30 проб мезозоопланктона и 73 пробы берое.

Мезозоопланктон был собран в Черном море на НИС «Віліш» в период со 2 по 8 июня 2000 г. вдоль Анатолийского побережья Турции. Тотальные вертикальные ловы мезозоопланктона проводили сетью Гензена (диаметр входного отверстия 70 см, ячейка сита

300 мкм) от нижней границы кислородного слоя (глубина залегания изопикны сигма  $t = 16,20$ ) до поверхности. Пробы на 95% были представлены *Calanus sinclis*. Другие виды (*Pseudocalanus elongates*, *Acartia tonsa*, *Acartia clausi*) присутствовали в незначительных количествах. У крымских берегов Черного моря (бухта Севастопольская) мезозoopланктон был собран 20 сентября 2001 г. с катера, сетью Богорова – Расса (диаметр входного отверстия 80 см, ячейка сита 300 мкм), облавливали слой воды глубиной от 10 м до поверхности. Мезозoopланктон был представлен более чем на 40% *Acartia clausi*, около 30% составляли *Nauplii balaus* и около 30% меропланктон.

Отлов берое производили 30 октября 2000 г. и 11 сентября 2001 г. в Казачьей бухте сачком с поверхности моря. Глубина в месте сбора составляла около 10 м. Безлопастный гребневик берое – новый вселенец в Черное море, впервые появился в северо-восточной его части в августе 1997 г. [3], а в августе-сентябре 1999 г. был обнаружен у Крымского побережья вблизи Севастополя [4]. Берое – хищник и основу его пищи составляет лопастной гребневик *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz (мнемипсис), занесенный в Черное море в начале 1980-х гг. с балластными водами из Северной Атлантики. Основной пищей мнемипсиса является кормовой зоопланктон. Выедание зоопланктона мнемипсисом в годы его массового развития привело к значительному уменьшению рыбных запасов в Черном море. До 1998 г. мнемипсис не имел естественных врагов в Черном море и основными факторами, регулирующими его численность, были пищевые и температурные условия [5]. Появление в Черном море гребневика берое оказалось новым фактором, контролирующим численность мнемипсиса и через нее – динамику и структуру планктонного сообщества в Черном море [5].

На наш взгляд, оценка вклада берое в данные процессы, проводимая гидробиологами и экологами, может быть дополнена радиохимическими исследованиями с помощью природного радионуклида  $^{210}\text{Po}$ , используемого как индикатор пищевых взаимоотношений в планктонных сообществах [6].

Определение  $^{210}\text{Po}$  в черноморском зоопланктоне проводили по методике, разработанной и усовершенствованной К. Ченом с соавт. [7]. Для количественной оценки химического анализа использовали трассер  $^{208}\text{Po}$ . Конечный этап в радиохимическом выделении  $^{210}\text{Po}$  состоит в спонтанном осаждении его и трассера на дисках из серебряной фольги при 85–90 °С в течение 3,5 ч. После осаждения диски промывали в дистиллированной воде, сушили 15 мин при 60 °С. Измерение  $^{208}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Po}$ , осевших на дисках, проводили на альфа-спектрометре OSTETE PC фирмы EG&G ORTEC. Серебряная фольга, трассер и альфа-спектрометр предоставлены МАГАТЭ по проекту RER/2/003. Концентрации  $^{210}\text{Po}$  выражали в Бк/кг сырой массы вещества. Статистическая обработка полученных результатов показала, что ошибки определения составляли 10–15% средней величины, рассчитанной для каждой группы данных.

Как видно из табл. 1, концентрации  $^{210}\text{Po}$  в тотальном мезозoopланктоне, отловленном вдоль Анатолийского побережья Турции 2–8 июля 2000 г., изменялись от 1,71 до 3,5 Бк/кг сырой массы, а пространственное их распределение свидетельствует о приуроченности максимальных данных к районам, расположенным на траверсе между мысами Джива и Ясуи (ст. 41) (рис. 1).

В суммарных пробах мезозoopланктона, собранных 20 сентября 2001 г. в Севастопольской бухте с глубины 10–0 м, концентрация  $^{210}\text{Po}$  была в среднем равна 3,02 Бк/кг. Следовательно, определенный нами в 2000–2001 гг. размах концентраций  $^{210}\text{Po}$  в черноморском мезозoopланктоне составил 1,71–3,5 Бк/кг сырой массы.

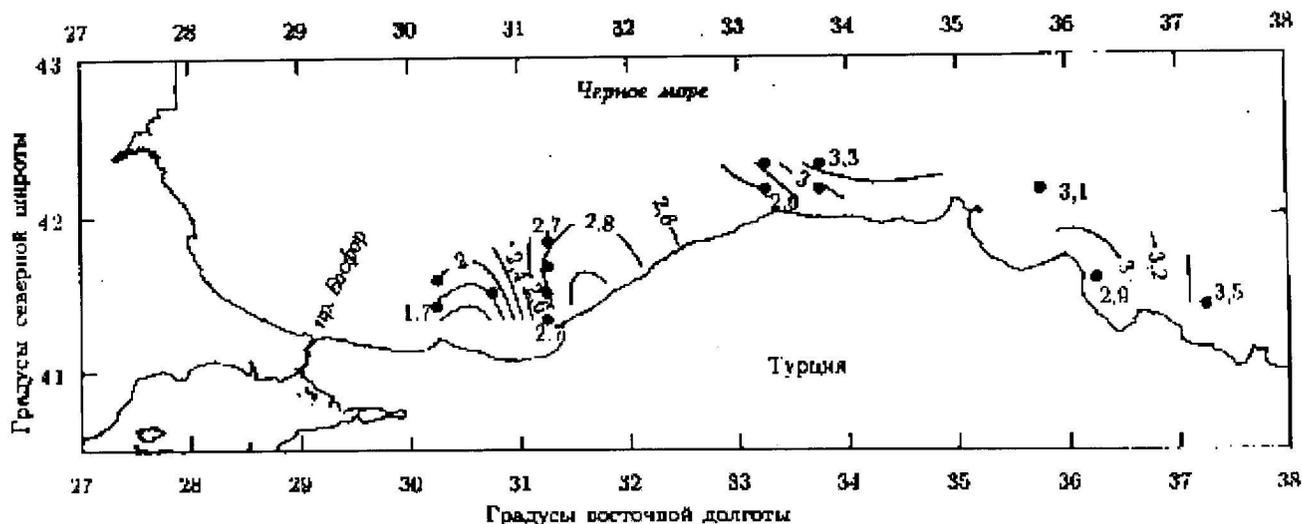


Рис. 1. Распределение концентраций  $^{210}\text{Po}$  в тотальном мезозопланктоне, отловленном вдоль Анатолийского побережья Турции 2-8 июля 2000 г.

Согласно литературным данным [1], содержание  $^{210}\text{Po}$  в зоопланктоне Мирового океана варьирует от 2,96 до 111 Бк/кг сырой массы. Таким образом, полученные нами величины концентраций  $^{210}\text{Po}$  в мезозопланктоне Черного моря, находятся на уровне минимальных значений, представленных для зоопланктона в целом.

Средняя концентрация  $^{210}\text{Po}$  в *Calanus helgolandicus* из Средиземного моря (район Монако) 9,2 Бк/кг сырой массы [6], что почти в 2,6 раза выше максимальных величин, полученных нами в суммарных пробах черноморского мезозопланктона, состоящего более чем на 90% из *Calanus eslinus*. Эти различия могут быть обусловлены как региональными, так и сезонными факторами. В частности, сезонные изменения содержания наблюдались в криле *Eurytemora affinis* [8].

Отмечено широтное распределение этого радионуклида в воде из различных регионов Мирового океана, которое можно представить в виде следующего ряда: Северная Атлантика < Южная Атлантика < южная часть Индийского океана < южная часть Тихо-

Таблица 1. Концентрации  $^{210}\text{Po}$  в черноморском мезозопланктоне (отбор 2-8 июля 2000 г.)

Номер станции отбора	Координаты станции	Глубины отбора, м	Глубина моря в месте отбора, м	Концентрация $^{210}\text{Po}$ , Бк/кг сырой массы
8	41°25' N; 30°15' E	113	113	1,71 ± 0,22
9	41°35' N; 30°15' E	113	1590	1,96 ± 0,25
10	41°30' N; 30°45' E	113	1350	1,82 ± 0,21
14	41°20' N; 31°15' E	159-179	540	2,68 ± 0,29
15	41°30' N; 31°15' E	159-179	1200	2,75 ± 0,33
16	41°40' N; 31°15' E	159-179	1200	2,87 ± 0,31
17	41°50' N; 31°15' E	159-179	750	2,70 ± 0,32
21	42°10' N; 33°15' E	133-141	1400	2,62 ± 0,30
22	42°20' N; 33°15' E	133-141	2200	2,85 ± 0,29
23	42°20' N; 33°45' E	133-141	1700	3,32 ± 0,40
24	42°10' N; 33°45' E	133-141	650	2,98 ± 0,35
33	42°10' N; 35°45' E	139-145	420	3,13 ± 0,33
39	41°35' N; 36°14'914 E	140	480	2,88 ± 0,29
41	41°25' N; 37°14'914 E	151	300	3,50 ± 0,38

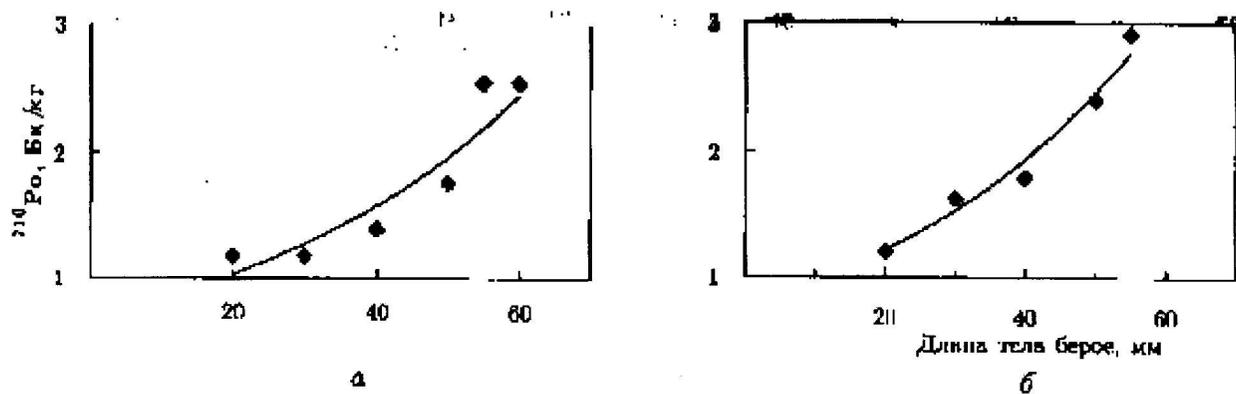


Рис. 2. Изменение концентраций  $^{210}\text{Po}$  в разноразмерных особях берое, собранных в Казачьей бухте 30 октября 2000 г. (а) и 11 сентября 2001 г. (б)

го океана < северная часть Тихого океана [9]. Несмотря на значительные различия в величинах концентраций  $^{210}\text{Po}$  в морской воде (от 0,2 Бк/м<sup>3</sup> в Красном море, 0,6–1,93 Бк/м<sup>3</sup> в Северном море, 0,925 Бк/м<sup>3</sup> в Средиземном море до 3,78 Бк/м<sup>3</sup> в северной части Тихого океана), в качестве усредненной для Мирового океана принимается величина, равная 1 Бк/м<sup>3</sup> [10].

В поверхностной воде открытой части Черного моря наблюдается также существенное различие концентраций  $^{210}\text{Po}$  [11]. Так, в воде, отобранной на двух разных станциях с глубин 5 и 10 м, они были равны 0,63 и 2,91 Бк/м<sup>3</sup>, при этом более высокая концентрация  $^{210}\text{Po}$  определена в воде из центральной части моря [11].

Как известно, способность различных морских организмов аккумулировать радионуклид отражает величина коэффициента накопления (Кн), определяемая как отношение его концентрации в организме, рассчитанной в Бк/кг живой массы, к таковой в воде, измеренной в мБк/л [12]. Порядок величины Кн  $^{210}\text{Po}$  для зоопланктонных организмов составляет в среднем  $2 \cdot 10^4$  [1]. Определенные нами Кн  $^{210}\text{Po}$  для тотального мезозоопланктона Черного моря были равны  $0,5 \cdot 10^4$  при его концентрации в поверхностной нефилтрованной воде из Севастопольской бухты по состоянию на сентябрь 2001 г. 0,52 мБк/л.

В пробах разноразмерных особей берое концентрации  $^{210}\text{Po}$  (С, Бк/кг сырой массы) зависели от длины тела животного (L, мм) (рис. 2), а значит, и их возраста, что может быть связано с разным количеством потребляемой ими пищи. Согласно полученным данным (рис. 2), концентрация  $^{210}\text{Po}$  возрастает с увеличением длины тела берое. Зависимость между этими величинами описывается уравнением  $C = ae^{bL}$ , где  $a$  и  $b$  — постоянные величины для берое. Для популяции берое, исследованной в октябре 2000 г., получено уравнение  $C = 0,76e^{0,023L}$  при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,97$ . Для животных, отобранных в сентябре 2001 г., уравнение имело вид  $y = 0,68e^{0,021L}$  при  $R^2 = 0,88$ .

В то же время зависимость содержания  $^{210}\text{Po}$  в одном животном (А, Бк/особь) от его сырой массы (W,  $10^{-3}$  кг) (рис. 3) выражается функцией  $A = 1,8W$  при величине достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,95$ .

Таким образом, первые определения  $^{210}\text{Po}$  в суммарном черноморском мезозоопланктоне показали, что средние концентрации этого радионуклида, равные 2,75 Бк/кг сырой массы, ниже таковых для средиземноморских организмов почти в три раза. Кн  $^{210}\text{Po}$  для исследованных нами животных из бухт Севастополя (мезозоопланктон и *B. ovata*) почти в три раза ниже, что может быть обусловлено более низкой соленостью, а следовательно-

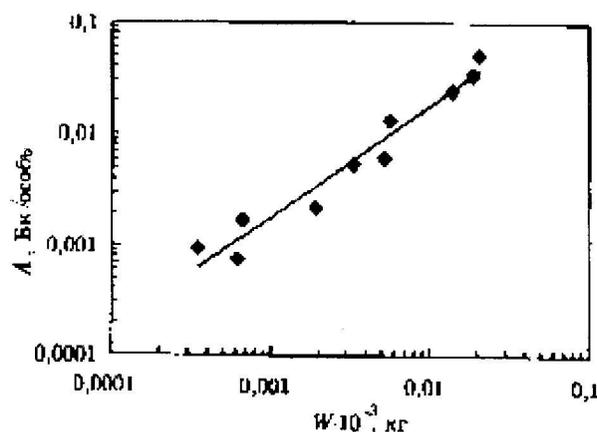


Рис. 3. Зависимость содержания  $^{210}\text{Po}$  в одном животном ( $A$ ) от его сырой массы ( $W$ )

но, и более низкими концентрациями изотопных носителей  $^{210}\text{Po}$  в черноморской воде. Так, показано, что при солености около 28,2-28,4‰ концентрации полония в поверхностной морской воде были равны 0,33 мБк/л, увеличиваясь почти в 3-5 раз с повышением солености до 33‰ [13].

Полученная нами зависимость изменения концентраций полония в *B. ovata* от длины тела этого гребневика описывается экспоненциальной функцией, а изменение содержания  $^{210}\text{Po}$  в одном животном в зависимости от его сырой массы выражается степенной функцией.

Впервые построена карта пространственного распределения концентраций  $^{210}\text{Po}$  в суммарном мезозoopланктоне южной части Черного моря, при этом их величины были близки к таковым для Севастопольской бухты.

Результаты дальнейших исследований позволят оценить вклад мезозoopланктона и представителя желетелого макропланктона — борея, в аккумуляцию и перенос по пищевым цепям  $^{210}\text{Po}$  — одного из основных дозообразующих радионуклидов в природе.

1. Cherry R. D., Shannon L. V. The alpha radioactivity of marine organisms // *Atom. Energy Rev.* - 1974. - 12. - P. 3-45.
2. Cherry R. D., Fowler S. W., Beasley T. M., Heyraud M. Polonium - 210: its vertical oceanic transport by zooplankton metabolic activity // *Mar. Chem.* - 1975. - 3. - P. 105-110.
3. Луникова Н. В. *Boreo ovata* Mayer, 1912 (Ctenophora, Tentaculata, Beroidea) в прибрежных водах северо-восточной части Черного моря // *Экология моря*. - 2002. - Вып. 59. - С. 23-25.
4. Филинко Г. А., Романова З. А., Аболмасова Г. И. Новый вид гребневик *Boreo ovata* Bruggin: // *Экология моря*. - 2000. - Вып. 50. - С. 21-26.
5. Филинко Г. А., Аминский В. Е., Романова З. А., Аболмасова Г. И., Кидея А. Е. Chemical composition, respiration and feeding rates of the new alien ctenophore, *Boreo ovata*, in the Black Sea // *Hydrobiologia*. 2001. - 451. - P. 177-186.
6. Miguel J. C., Heyraud M., Cherry R. D.  $^{210}\text{Pb}$  as a dietary indicator in the Atlantic pelagic community // *Mar. Biol.* - 1993. - 115. - P. 161-171.
7. Chen Q., Dalgaard H., Nielsen S. P., Aarborg A. Determination of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in Mussel, Fish, Sediment, Petroleum / Department of Nuclear Safety Research and Facilities, Risoe National Laboratory, Denmark, November 1998. - 10 p.
8. Cherry R. D., Fowler S. W., Beasley T. M., Heyraud M. Polonium-210 in euphausiids: a detailed study // *Mar. Biol.* - 1976. - 34. - P. 127-136.
9. Cherry R. D., Heyraud M. Lead-210 and polonium-210 in the World's Ocean / Inventories of selected radionuclides in the oceans (IAEA-TECDOC 481). - Vienna: IAEA. 1988. - P. 139-158.
10. Aarborg A., Baxter M. S., Bettecourt A. O. et al. A comparison of doses from  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Po}$  in marine food: A Major International Study // *J. Environ. Radioactivity*. 1997. - 34. - P. 69-90.

11. *Wei C.-L., Murray J. W.* The behavior of scavenged isotopes in marine anoxic environments:  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in water column of the Black Sea // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1994. - 58. - P. 1795-1811.
12. *Поликарпов П. Г.* Радиоэкология морских организмов. - Москва: Атомиздат, 1964. - 295 с.
13. *Heuguid M., Chetty R. D.* Polonium-210 and lead-210 in marine food chains // *Mar. Biol.* 1979. - 52. - P. 227-236.

*Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского  
НАН Украины, Севастополь  
Институт морских наук, Эрдемли*

*Поступило в редакцию 13.05.2002*

## РЕФЕРАТ

к статье Лазоренко Г.Е., Поликарпова Г.Г., Романовой З.А., Кидейса А.Е.

### АККУМУЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНОГО РАДИОЭЛЕМЕНТА ПОЛОНИЯ ЗООПЛАНКТОННЫМИ ОРГАНИЗМАМИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Получены первые результаты определения  $^{210}\text{Po}$  в тотальном мезозoopланктоне и представителе макропланктонного сообщества Черного моря ктенофоре *Beroe ovata*. В 2000-2001 гг размах концентраций  $^{210}\text{Po}$  в черноморском мезозoopланктоне составил 1.71-3.5 Бк.кг<sup>-1</sup> сырой массы. Концентрации  $^{210}\text{Po}$  в *B.ovata* были равны 1.18-2.91 Бк.кг<sup>-1</sup> сырой массы. Порядок величин коэффициентов накопления  $^{210}\text{Po}$  исследованными видами черноморского зоопланктона составил  $10^4$ . Проведено сравнение этих данных с известными из других регионов. Работа выполнена в рамках международного технического проекта МАГАТЭ RER/2003 "Marine Environmental Assessment in the Black Sea Region".

## ABSTRACT

### ACCUMULATION OF NATURAL RADIOELEMENT POLONIUM BY ZOOPLANKTON ORGANISMS OF THE BLACK SEA

Lazorenko G.E., Polikarpov G.G., Romanova Z.A., Kideys A.E.

The first results of  $^{210}\text{Po}$  determination in total mesozooplankton and in representative species of macroplankton community of the Black Sea the ctenophore *Beroe ovata*, are presented. In 2000-2001 the range of  $^{210}\text{Po}$  concentrations in the mesozooplankton was 1.71-3.5 Bq.kg<sup>-1</sup> wet weight.  $^{210}\text{Po}$  concentrations in *B. ovata* were 1.18-2.91 Bq.kg<sup>-1</sup> wet weight. The order of  $^{210}\text{Po}$  concentration factors by investigated species are  $10^4$ . The comparison of these data with known one from other marine regions are given. The study was carried out in the framework of IAEA Technical Co-operative project RER/2003 "Marine Environmental Assessment in the Black Sea Region".