

ОЦЕНКА ПОТОКОВ ПРИРОДНОГО РАДИОНУКЛИДА ^{210}Po В ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Визначено потоки природного радіонукліда ^{210}Po із поверхні Чорного моря у його донні відклади та встановлено їх залежність від швидкості осадо накопичення загальної зваженої речовини та її біогенної складової. Показано, що ^{210}Po може слугувати індикатором якості органічної речовини в морському середовищі.

Ключові слова: ^{210}Po , потоки, загальна зважена речовина, органічна речовина, осадо накопичення, Чорне море.

Оценены потоки природного радионуклида ^{210}Po с поверхности Черного моря в его донные отложения и установлена их зависимость от скорости осадконакопления суммарного взвешенного вещества и его биогенной составляющей. Показано, что ^{210}Po может служить индикатором качества органического вещества в морских средах.

Ключевые слова: ^{210}Po , потоки, общее взвешенное вещество, органическое вещество, осадконакопление, Черное море.

The flows of natural radionuclide ^{210}Po from the surface of the Black Sea to its bottom sediments were evaluated. They depend on mass accumulation rates as total suspended matter and its biogenic component. It was shown that ^{210}Po might be used as an indicator of quality of organic matter in marine environments.

Key words: ^{210}Po , flows, total suspended matter, organic matter, sedimentation, Black Sea.

Радиоактивный элемент полоний входит в главную подгруппу шестой группы периодической таблицы Д. И. Менделеева. Природные изотопы полония распределены по трем основным естественным радиоактивным рядам (^{235}U , ^{232}Th и ^{238}U - ^{226}Ra). Распад последнего из них замыкает самый долгоживущий изотоп этого элемента – ^{210}Po . Особо пристальное внимание радиоэкологов к исследованию поведения этого радионуклида в морской среде обусловлено его физическими и химическими свойствами. ^{210}Po , как и другие его природные изотопы, относится к альфа-излучателям. Энергия излучения его альфа-частиц составляет 5,305 МэВ, а период полураспада – 138,4 сут.

Основным естественным источником поступления ^{210}Po в морскую среду служит атмосфера, попадая из которой на поверхность морей и океанов этот радионуклид включается в биогеохимические процессы в сверхтонком поверхностном слое [1; 2], а затем в ее толще [3]. Выявлена связь ^{210}Po с растворенным (РОВ) и взвешенным органическим веществом (ВОВ) в морской воде, а его аккумуляция фитопланктоном и мелкими зоопланктонными организмами, продуктами их метаболического обмена позволяет использовать этот радионуклид в качестве трассера их потоков на дно моря [1-3]. Установлено, что ^{210}Po относится к числу наиболее информативных и надежных радиотрассеров биоседиментационных процессов в морской среде [4-8].

Изучение поведения полония в Черном море вызывает значительный интерес, так как этот морской регион характеризуется своими собственными уникальными особенностями, а именно, наличием самой большой в мире сероводородной зоны [9] и признанием его самым крупным на Земле метановым водоемом [10]. Транспорт ^{210}Po , как поливалентного элемента, в водной толще Черного моря регулируется окислительными и восстановительными условиями среды. Потоки этого радионуклида в донные отложения Черного моря были оценены с учетом концентраций ^{210}Po в исследованных субстратах и скоростей осадконакопления суммарного взвешенного вещества и его биогенной составляющей.

Для выделения ^{210}Po из образцов использовали радиохимическую методику [11]. Трассером служил изотоп ^{208}Po (производство компании AEA Technology, Великобритания), с периодом полураспада 2,898 г. и энергией альфа-частиц, равной 5,114 МэВ. Изотопы полония осаждали на серебряные диски, а их измерение проводили на альфа-спектрометре фирмы EG&G ORTEC OCTETÈ PC (США). Калибровку энергетических спектров и определение эффективности детекторов выполняли, применяя стандарты, которые регулярно поверяли в метрологическом центре (г. Харьков). Суммарный счет количества импульсов в области

энергий изотопов полония происходит автоматически с помощью программы MAESTRO™ II, модель A64–B1 фирмы EG&G ORTEC. Результаты измерений обрабатывали статистически [12], ошибка определения не превышала 10 % от средней величины, рассчитанной для каждой группы данных. Концентрации ^{210}Po в исследованных пробах приведены в Бк·кг⁻¹ сухой массы.

Концентрации ^{210}Po в слое 0-1 см черноморских донных отложений изменяются в диапазоне 5-500 Бк·кг⁻¹ сухой массы [13-17], при этом самые высокие из них определены в северо-западной части моря. Для донных отложений, отобранных в восточной части Черного моря, диапазон концентраций ^{210}Po составлял 4,5-240,5 Бк·кг⁻¹ сухой массы [15-17]. Концентрации ^{210}Po в донных отложениях, отобранных вдоль побережья Крыма, варьировали от 12,5 Бк·кг⁻¹ сухой массы в районе мыса Тарханкут до 38,7 Бк·кг⁻¹ сухой массы в районе Карадага, что соответствует опубликованным данным для прибрежных морских районов [18-20].

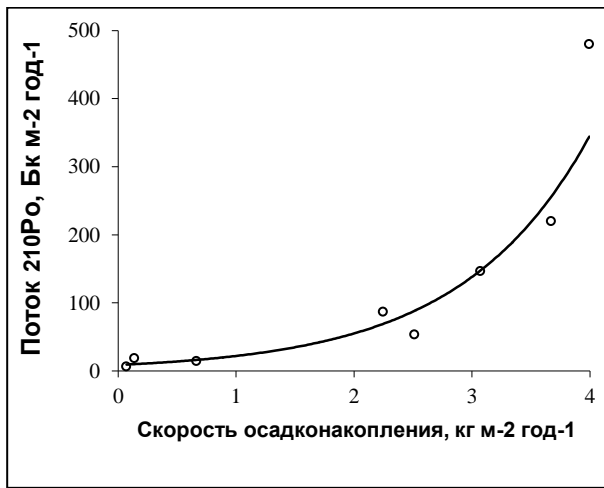
По уровням аккумуляции ^{210}Po донными отложениями внутренние акватории самой большой по своим размерам Севастопольской бухты их можно расположить в виде ряда: Южная бухта > Килен бухта > Мартынова бухта > устье реки Черная [16; 17]. По уровням объемов сбросов неочищенных промышленных и аварийных бытовых и ливневых стоков Южная бухта занимает первое место среди других бухт Севастополя [21].

В морской среде ^{210}Po , как отмечено выше, предпочтительно связывается органическим взвешенным веществом, поэтому можно заключить, что ^{210}Po

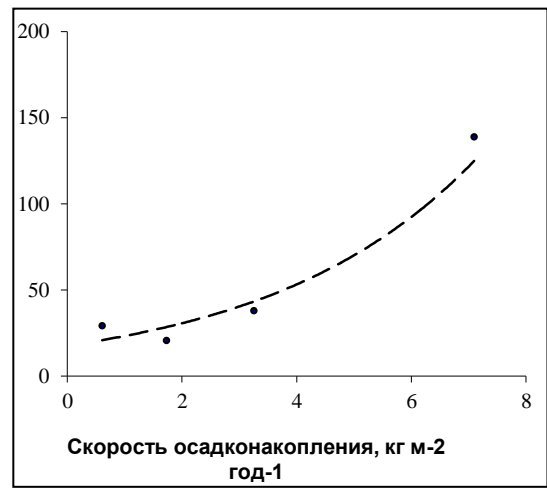
является индикатором распределения в донных отложениях загрязнения Севастопольской бухты неочищенными бытовыми городскими, промышленными и ливневыми стоками, содержащими взвешенное органическое вещество разного происхождения. Известно, что аккумуляция ^{210}Po взвесью зависит от размеров взвешенных частиц [16]. Сопоставление гранулометрического состава исследованных донных отложений Севастопольской бухты с определенными в них концентрациями ^{210}Po , свидетельствует о том, что данный радионуклид связан с мелкодисперсной органической взвесью и аккумулируется в илистых фракциях донных отложений. В Стрелецкой бухте самые высокие концентрации ^{210}Po были определены в илах. В донных отложениях из Казачьей бухты они соответствовали пластичному илу с запахом нефти, а также илам с примесями ракушки и заиленным пескам с запахом нефти. Для Балаклавской бухты диапазон концентраций ^{210}Po в донных отложениях, состоящих из коричневых илов, изменялся от 59,2 до 99,6 Бк·кг⁻¹ сухой массы. Это свидетельствует о том, что они находятся в пределах величин, характерных для исследованных прибрежных районов разных морей [18-20], включая Черное море [13-17].

Как отмечено выше, на содержание ^{210}Po в черноморских донных отложениях влияют физические и химические факторы, регулирующие поведение этого природного радионуклида в среде и субстрате.

Нами установлено, что величины потоков ^{210}Po (F) с поверхности моря на его дно зависят от скоростей осадконакопления (x), характерных для каждого из исследованных районов [22-24] (рис. 1, 2).



Черное море



Севастопольская бухта

Рис. 1. Зависимость потоков ^{210}Po в донные отложения от скорости осадконакопления

Как видно из приведенных графиков, величины потоков ^{210}Po в донные отложения Черного моря, в целом, и Севастопольской бухты, в частности, зависят от скоростей осадконакопления, формируемых в природных условиях как суммарным взвешенным веществом (рис. 1), так и его биогенной составляющей (рис. 2). Во всех случаях кривые имели экспоненциальный вид и описывались уравнением:

$$F = ae^{bx},$$

где: a и b – коэффициенты, характеризующие количественный и качественный состав взвешенного вещества.

Сравнение величин коэффициента «a» в уравнениях может свидетельствовать о том, что в составе суммарного взвешенного вещества Черного моря доля органического вещества достигает 85,5 %. Для Севастопольской бухты ее величина определялась на уровне почти 17 %.

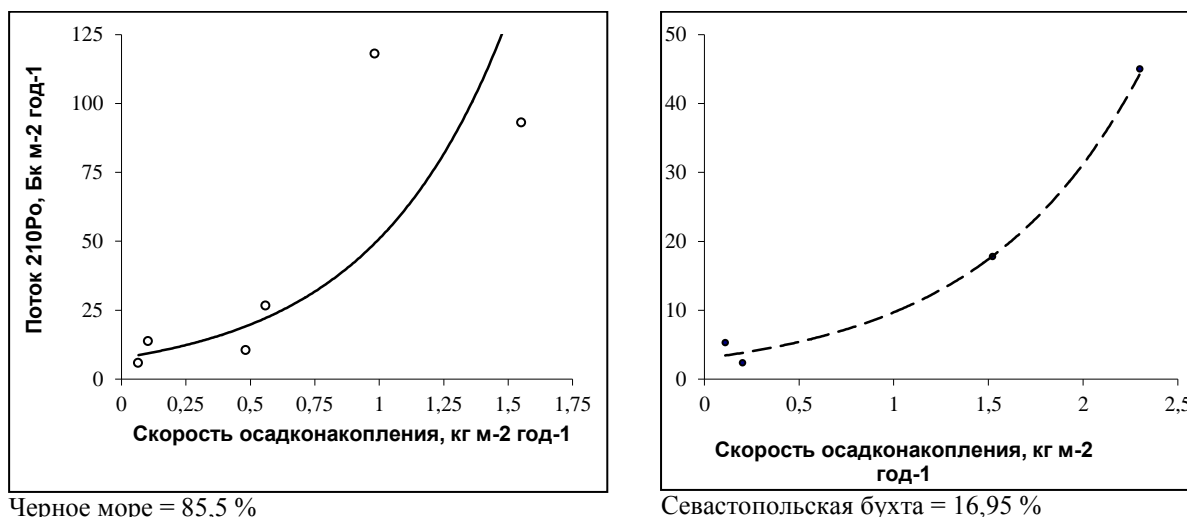


Рис. 2. Зависимость потоков ^{210}Po в донные отложения от скорости накопления биогенной составляющей взвешенного вещества

В тоже время, коэффициент « κ », скорее всего, характеризует качественный состав органического вещества в пробе, определяемый соотношением присутствующего в нем растворенного вещества разного происхождения и взвешенного органического вещества, в том числе фито- и зоопланктона и продуктов их метаболизма.

Полученные нами результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Концентрации ^{210}Po , определенные нами в донных отложениях Черного моря, находятся пока в пределах природных значений и не превышают максимально установленный уровень в 900 Бк/кг $^{-1}$ сухой массы.

2. Уравнения, описывающие зависимости потоков ^{210}Po в донные отложения Черного моря в целом и Севастопольской бухты, в частности, от скоростей осадконакопления имеют экспоненциальный вид.

3. Сравнение значений коэффициентов в полученных уравнениях позволяет оценивать количественный и качественный состав взвешенного вещества и его биогенной составляющей.

4. Полученные данные свидетельствуют о том, что ^{210}Po может служить индикатором качества биогенного вещества в морских средах.

ЛИТЕРАТУРА

- Heyraud M., Cherry R.D. The correlation of ^{210}Po and ^{210}Pb enrichment in the sea-surface microlayer with neuston biomass // *Cont. Shelf Res.* – 1983. – Vol. 1, Iss. 3. – P. 283–293.
- Miguel J.-C., Rodriguez Y., Baena A., Gasser B., Fowler S.W. Carbon and ^{210}Po in the surface microlayer and its role in near surface particle fluxes in the Mediterranean coastal zone // *Rapp. Com. Int. Mer. Médit.* – 2004. – Vol. 37. – P. 227.
- Cherry R. D., Fowler S. W., Beasley T. M., Heyraud M. Polonium-210: Its vertical oceanic transport by zooplankton metabolic activity // *Mar. Chem.* – 1975. – Vol. 3, Iss. 2. – P. 105–110.
- Friedrich J., Rutgers van der Loeff M.M. A two tracer (^{210}Po - ^{234}Th) approach to distinguish organic carbon and biogenic silica export flux in the Antarctic Circumpolar Current // *Deep Sea Res.* – 2002. – Part I. – Vol. 49. – P. 339–354.
- Rutgers van der Loeff M.M., Geiber W. U- and Th-series nuclides as tracers of particle dynamics, scavenging and biogeochemical cycles in the oceans // *U-Th series nuclides in aquatic systems* / Eds. S. Krishnaswami, J. K. Cochran. – Amsterdam : Elsevier, 2008. – Chapter 7. – P. 227–268.
- Cochran J.K., Masqué, P. Short-lived U/Th series radionuclides in the ocean: Tracers for scavenging rates, export fluxes and particle dynamics // *Rev. Miner. Geochem.* – 2003. – Vol. 52. – P. 461–492.
- Stewart G.M., Cochran J.K., Xue J., Lee C., Wakeham S., Armstrong R.A., Masqué P., Miquel J.C. Exploring the connection between Po-210 and organic matter in the northwestern Mediterranean // *Deep-Sea Res.* (I). – 2007. – Vol. 54, 415–427.
- Kim G., Kim T.-H., Church T.M. Po-210 in the environment: biogeochemical cycling and bioavailability // *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Advances in Isotope Chemistry* / Ed. M. Baskaran. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – P. 271–284.
- Скопичев Б.А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1975 – 336 с.
- Леин А. Ю., Иванов М. И. Крупнейший на Земле метановый водоем // *Природа*. – 2005. – № 2. – С. 19–26.
- Chen Q., Aarkrog A., Nielsen S.P., Dahlgard H. Procedures for determination of $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{237}Np , $^{234,238}\text{U}$, $^{228,230,232}\text{Th}$, ^{99}Tc , ^{210}Pb , ^{210}Po in environmental materials // *Risø National Laboratory (Roskilde (Denmark), December 2001): Pitney Bowes Management Services, Denmark A/S, 2001. – Riso-R-1263(EN). – 34 p.*
- Mayer K. Basics and essentials of statistics // *IAEA Regional advanced training course on quality management in environmental applications of nuclear analytical techniques (Karlsruhe (Germany), 23 Aug.– 3 Sept. 1999)* / European Commission, Joint Research Centre, Institute for Transuranium Elements. – Karlsruhe: Center for Advanced Technological and Environmental Training (FTU), 1999. – 320 p.
- Лазоренко Г. Е. Изучение распределения ^{210}Po в донных отложениях шельфовой зоны Черного моря вдоль Крымского побережья // *Экология моря*. – 1999. – Вып. 49. – С. 81–84.
- Лазоренко Г. Е. Концентрирование ^{210}Po донными отложениями Черного моря // *Доповіді НАН України*. – 2000. – № 9. – С. 203–207.
- Лазоренко Г. Е., Поповичев В. Н. Распределение ^{210}Po в донных отложениях северо-западной части Черного моря // *Наукові записки Тернопільського національного педуніверситета. Серія біологія. Спец. вип.* : Гідроecологія. – 2005. – № 4 (27). – С. 133–135.
- Лазоренко Г. Е. Распределение природного радионуклида ^{210}Po в компонентах экосистемы Черного моря // *Радиоecологический отклик Черного моря на Чернобыльскую аварию* / Под ред. Г. Г. Поликарпова и В. Н. Егорова. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – С. 311–337.

17. Lazorenko G., Polikarpov G., Osvath I. ^{210}Po accumulation by components of the Black Sea ecosystem // Radioprotection. – 2009. – Vol. 44, № 5. – P. 981–986.
18. ISRN. Institute de Radioprotection et de Sûreté Nucleaire, Cadarache Fiche Radionuclide: Polonium-210 et environnement / ISRN, Direction de l'environnement et de l'intervention: Service d'étude du comportement des radionucléides dans les écosystèmes / F. Coppin, S. Roussel-Debet. – Cadarache: ISRN, 2004. – 24 p.
19. IAEA. Sediment distribution coefficients and concentration factors for biota in the marine environment // IAEA Technical Reports Ser., № 422. – Vienna: IAEA, 2004. – 103 p.
20. Higley K. A. ICRP C5 Update // ICRP Committee Protect Meeting (Vienna, Austria, June 2007). – Vienna: ICRP, 2007. – 67 p.
21. Овсяный А. И., Романов А. С., Игнатъева О. Е. Распределение тяжелых металлов в поверхностном слое донных осадков Севастопольской бухты // Морской экологический журнал. – Т. II, № 2. – 2003. – С. 85–95.
22. Gulin, S.B. Recent changes of biogenic carbonate deposition in anoxic sediments of the Black Sea: sedimentary record and climatic implication // Mar. Environ. Res. – 2000. – Vol. 49. – P. 319–328.
23. Gulin S. B., Polikarpov G. G., Egorov V. N., Martin J. M., Korotkov A. A., Stokozov N. A. Radioactive contamination of the north-western Black Sea sediments // Estuarine Coastal Shelf Sci. – 2002. – Vol. 54 – P. 541–549.
24. Гулін С. Б., Сидоров І. Г., Гуліна Л. В. Біогенна седиментація в Чорному морі: радіотрасерне дослідження // Морской экологический журнал. – 2013. – 11 с., в печати.

Рецензенти: **Кутлахмедов Ю. А.**, зав. лабораторією Інституту клітинної біології та генної інженерії НАН України, д.б.н., професор;
Терещенко Н. Н., ведучий научний співробітник відділу радіаційної та хімічної біології Інституту біології південних морів НАН України, к.б.н.

© Лазоренко Г. Є., Гулін С. Б., Єгоров В. М.,
 Мірзоева Н. Ю., Сидоров І. Г., Гуліна Л. В., 2013

Дата надходження статті до редколегії 27.05.2013 р.

ЛАЗОРЕНКО Галина Євдокимівна – провідний науковий співробітник Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБПМ) НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіоекологія водних екосистем, радіотрасерні методи, вивчення біогеохімічних критеріїв нормування потоків радіоактивних речовин природного і техногенного походження, біогеохімічних факторів концентрації, перерозподілу і міграції елементів – хімічних аналогів ^{90}Sr і ^{137}Cs , еквідозиметрія.

ГУЛІН Сергій Борисович – д.б.н., професор, завідувач відділу радіаційної і хімічної біології (ВРХБ) Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБПМ) НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: морська радіохемоекологія, дослідження процесів евтрофікації, радіоактивного і хімічного забруднення морського середовища, реконструкція хронології надходження антропогенних радіонуклідів, ПХБ, пестицидів, важких металів і мікроелементів у донні відкладення з використанням природних і антропогенних радіотрасерів, роль метанових струминних газовиділень із дна Чорного моря, якість глибинних вод сірководневої зони Чорного моря.

ЄГОРОВ Віктор Миколайович – головний науковий співробітник Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБПМ) НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіоекологія водних екосистем, радіотрасерні методи, вивчення біогеохімічних критеріїв нормування потоків радіоактивних речовин природного і техногенного походження, біогеохімічних факторів концентрації, перерозподілу і міграції елементів – хімічних аналогів ^{90}Sr і ^{137}Cs , еквідозиметрія.

МІРЗОЄВА Наталя Юрївна – к.б.н., завідувачка лабораторією радіаційної екології та біогеохімії відділу радіаційної і хімічної біології (ВРХБ) Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБПМ) НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіоекологія водних екосистем, радіотрасерні методи, вивчення біогеохімічних критеріїв нормування потоків радіоактивних речовин природного і техногенного походження, біогеохімічних факторів концентрації, перерозподілу і міграції елементів – хімічних аналогів ^{90}Sr і ^{137}Cs , еквідозиметрія.

СИДОРОВ Ілля Геннадійович – молодший науковий співробітник ВРХБ ІнБПМ НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: радіохімічні методи визначення концентрації ^{137}Cs в природних об'єктах, визначення швидкостей седиментації зваженої речовини й осадонакопичення радіотрасерними методами.

ГУЛІНА Лариса Вікторівна – провідний інженер Інституту біології південних морів ім. О. О. Ковалевського (ІнБПМ) НАН України, м. Севастополь, Україна.

Коло наукових інтересів: морська радіохемоекологія, дослідження процесів евтрофікації, радіоактивного і хімічного забруднення морського середовища, реконструкція хронології надходження антропогенних радіонуклідів, ПХБ, пестицидів, важких металів і мікроелементів у донні відкладення з використанням природних і антропогенних радіотрасерів, роль метанових струминних газовиділень із дна Чорного моря, якість глибинних вод сірководневої зони Чорного моря.