УДК (546.79:594.124 (262.5))

Лазоренко Г.Е., Поликарпов Г.Г.

ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ ПРИРОДНЫМ РАДИОНУКЛИДОМ ^{210}Po В КОММЕРЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ВИДАХ РЫБ И МОЛЛЮСКОВ ЧЕРНОГО МОРЯ

Выполнен расчет мощностей поглощенных и эквивалентных доз, которые получают коммерчески значимые виды черноморских рыб и моллюсков от природного радионуклида ^{210}Po. Показано, что максимальные величины мощностей эквивалентных доз для исследованных гидробионтов в 100 и более раз ниже предложенного МАГАТЕ лимита мощности дозы, при котором популяции водных организмов защищены от воздействия ионизирующей радиации.

Ключевые слова: *^{210}Po, поглощенные и эквивалентные дозы, рыбы, моллюски, Черное море.*

Виконано розрахунок потужностей поглинутих та еквівалентних доз, що отримують комерційно значимі види чорноморських риб та молюсків від природного радіонукліда ^{210}Po. Показано, що максимально визначені величини потужностей еквівалентних доз для досліджених гідробіонтів у 100 і більше разів нижче запропонованого МАГАТЕ ліміту потужності дози, при якому популяції водяних організмів захищені від дії іонізуючої радіації.

Ключові слова: *^{210}Po, поглинуті та еквівалентні дози, риби, молюски, Чорне море.*

The absorbed and equivalent doses derived to the commercial species of the Black Sea fishes and mollusks from naturally occurring ^{210}Po were estimated. It was shown that the maximum values of dose rate for the studied hydrobionts are about 100 and more times lower than the dose rate limit proposed by IAEA for the protection of aquatic organisms from ionizing radiation.

Key words: *^{210}Po, absorbed and equivalent doses, fishes, mollusks, the Black Sea.*

Полоний – элемент главной подгруппы шестой группы периодической таблицы Д.И. Менделеева. Стабильных аналогов этого радиоактивного элемента в природе не обнаружено. Среди 33 изотопов полония, известных к настоящему времени, ^{210}Po, замыкающий природную радиоактивную серию ^{238}U-^{226}Ra, вызывает у радиобиологов большой интерес. В морские организмы ^{210}Po поступает только пищевым путем, а к человеку – с морепродуктами. Внимание к этому радионуклиду вызвано, прежде всего, его большим вкладом в дозу облучения биоты и человека [1-6]. Радиологическая значимость ^{210}Po обусловлена его радиоактивными и химическими свойствами. Прежде всего, ^{210}Po – 100 %-ный альфа-излучатель с высокой энергией альфа-частиц (5,305 МэВ), а дозовый конверсионный фактор для этого радионуклида имеет одно из самых высоких значений для радиоактивных элементов [1-3]. Излучение альфа-частиц ^{210}Po создает более 80 % суммарной «marine dose», получаемой человеком от природных радионуклидов с морской пищей [1]. Величины поглощенных и эквивалентных доз, формируемых ^{210}Po в гидробионтах, определены для многих видов организмов, обитающих в разных регионах Мирового океана [1, 2, 4-6].

К началу наших исследований по изучению способности гидробионтов Черного моря аккумулировать ^{210}Po, проводимых в рамках проекта МАГАТЭ RER/2/003 «Marine Environmental Assessment in the Black Sea Region» [7-10], в литературе почти отсутствовали данные относительно этого региона. В сводном отчете МАГАТЭ по техническому проекту IAEA-TECDOC-838 (MARDOS) приведены все известные в литературе материалы о концентрациях ^{210}Po в гидробионтах

из разных морских и океанических районов [2]. В этом отчете Черное море было представлено только двумя цифрами (по одной для рыб и моллюсков), без конкретного указания их вида и района отбора проб. При этом упомянутые цифры были приведены со ссылкой на весь промысловый регион, обозначенный ФАО (Международная организация по вопросам продовольствия и сельского хозяйства при ООН) под № 37, в который входит, как известно, весь Средиземноморский бассейн, включая Черное море [2].

В связи с отсутствием конкретных данных относительно концентраций ^{210}Po в гидробионтах Черного моря, нами были исследованы представители разных таксономических групп, включая макрофиты, суммарный мезозоопланктон, макрозоопланктон, моллюски и рыбы из разных экологических групп [7-10]. Отбор проб проводили в разных районах Черного моря, прежде всего в прибрежной зоне Крыма, включая бухты Севастополя (рис. 1, 2).

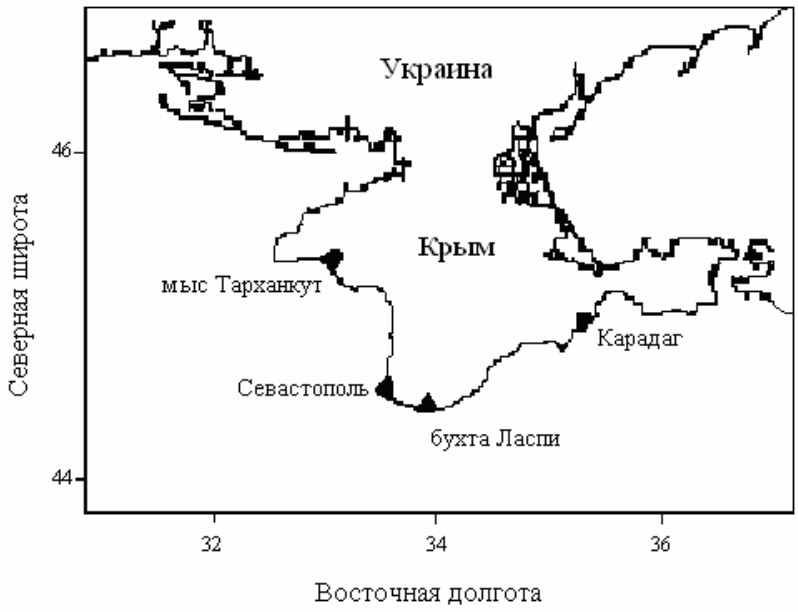

Рис. 1. Схема-карта районов отбора проб вдоль побережья Крыма

Пробы гидробионтов готовили к радиохимическому выделению из них ^{210}Po в соответствии с методикой, разработанной и усовершенствованной в РИСОЕ Национальной Лаборатории (Дания) [11]. Для оценки химического выхода в каждую пробу вносили трассер – альфа-излучатель ^{208}Po ($T_{1/2}$ = 2,898 г.). Конечный этап радиохимического анализа полония – это спонтанное осаждения обоих его изотопов (^{210}Po и ^{208}Po) на дисках из серебряной фольги при 85-90^{o}C в течение 3,5-4 час.

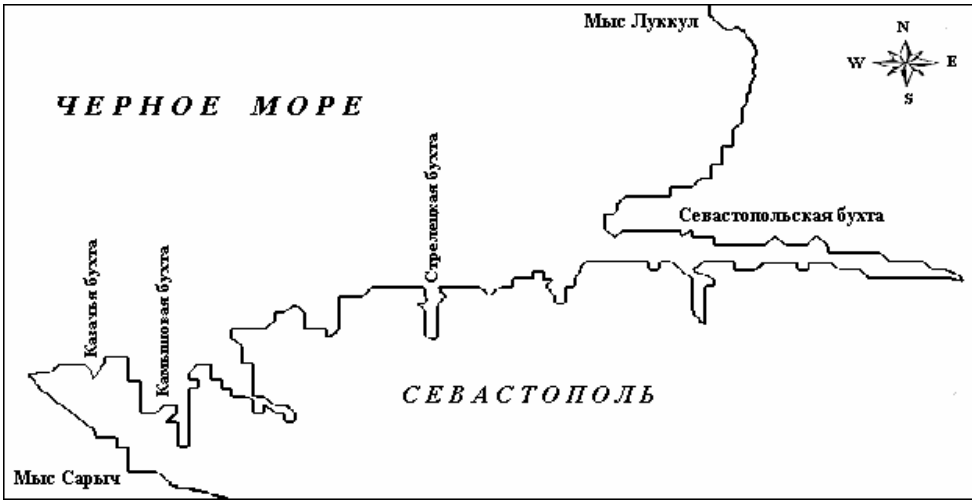

Рис. 2. Схема-карта районов отбора проб в Севастопольской морской акватории

Измерение обоих изотопов полония, осевших на дисках, проводили на альфа-спектрометре OCTÊTÊ PC фирмы EG&G ORTEC, который так же, как и серебряная фольга и трассер ^{208}Po, был получен Институтом биологии южных морей НАН Украины от МАГАТЭ по проекту RER/2/003. Результаты измерений обрабатывали статистически. Ошибка определения составляла 8-10 % от средней величины, рассчитанной для каждой группы данных.

Среди черноморских гидробионтов наибольшее внимание было обращено на коммерчески значимые виды рыб и моллюсков, составляющих основу потребляемых в Украине морепродуктов отечественного производства. Нами установлено, что концентрации ^{210}Po в этих видах рыб и моллюсков были самыми высокими [9, 10]. При этом возникает вопрос о том, насколько значимы их величины в формировании дозовых нагрузок на эти гидробионты.

В связи с этим, цель настоящей работы состояла в оценке мощностей поглощенных и эквивалентных доз, формируемых излучением альфа-частиц ^{210}Po в рыбах и моллюсках Черного моря, представляющих коммерческую ценность для этого морского региона.

Для оценки максимально возможных мощностей поглощенных доз облучения, получаемых черноморскими гидробионтами от излучения альфа-частиц ^{210}Po, при расчетах использовали определенные в них максимальные величины его концентраций (табл. 1).

Таблица

Максимальные величины концентраций ^{210}Po в коммерческих видах черноморских рыб и моллюсков [10]

Название исследованных видов		Бк·кг$^{-1}$ сырой массы
Русское	Латинское	
Хамса	*Engraulis encrasicholus ponticus* Aleksandrov	42 ± 3,8
Шпрот	*Sprattus sprattus phalericus* (Risso)	32 ± 3,0
Мидии	*Mytilus galloprovincialis* Lamark,1819	60 ± 5,4
Дальневосточная гигантская устрица	*Grassostrea gigas* (Th.)	74,8 ± 6,2
Черноморская устрица	*Ostrea edulis* (Linne)	31,6 ± 3,0
Скафарка	*Scapharca inaequivalvis* (Brunguiére, 1789)	32,2 ± 3,3

Для расчета поглощенных доз, создаваемых излучением альфа-частиц ^{210}Po в гидробионтах Черного моря, нами использованы подходы, критерии [1, 4-6, 12, 13] и формула [12, 13]:

$$D = 5{,}04 \times 10^{-6} \times C_{орг} \times E,$$

где: D – мощность поглощенной дозы (Гр·год$^{-1}$)

$C_{орг}$ – концентрация ^{210}Po в организме (Бк·кг$^{-1}$ сырой массы) ;

E – энергия альфа-частиц ^{210}Po, МэВ.

Изучение черноморского шпрота в радиологическом плане представляется особо важным, так как его вклад в общий объем выловов коммерческих видов рыб Черного моря в годы наблюдений достигала 95-97 % [14]. Самая высокая концентрация ^{210}Po в шпроте были определена на уровне 32 Бк·кг$^{-1}$ сырой массы в преднерестовый период. Применяя формулу (1), рассчитываем максимальную величину мощности поглощенной дозы, создаваемую в шпроте излучением альфа-частиц ^{210}Po, которая составила 0,86 мГр·год$^{-1}$ [17].

Максимально определенная концентрация ^{210}Po в хамсе была равной 42 Бк·кг$^{-1}$ сырой массы, а рассчитанная на ее основе мощность поглощенной дозы – 1,12 мГр·год$^{-1}$ [17].

Как известно, поглощенная доза – это физическая величина, которая введена для количественной оценки энергии излучения любого типа, поглощенной веществом. При одной и той же величине поглощенной дозы от разных типов излучения эффективность их воздействия на биологические объекты будет различной, что определяется величиной коэффициента качества Q или радиационного взвешенного фактора w_r. Для альфа-излучателей их значение равно 20 [1-6, 12, 15, 16]. Величина дозы, рассчитанная путем умножения поглощенной дозы на величину Q (w_r), как известно, называется эквивалентной и измеряется в зивертах (Зв). Ранее в литературе это название единицы эквивалентной дозы было принято использовать только при оценке облучения человека. При этом в качестве единицы эквивалентной дозы для других биологических видов применяли грей (Гр) с уточнением, что эта величина получена в результате умножения поглощенной дозы на Q или w_r, хотя в смысловом выражении она равнозначна зиверту (Зв).

В ряде работ зиверт предлагают применять или применяют прямо, по назначению, в качестве единицы эквивалентной дозы при оценке биологической эффективности действия разного типа ионизирующей радиации на все живые организмы [12, 17-22]. Основываясь на экоцентрическом принципе радиационной защиты, предлагается в радиационно-экологических исследованиях применять зиверт, единицу эквивалентной дозы, единую для человека и всех других живущих на Земле биологических видов, а ее мощность выражать в Зв год$^{-1}$ [20, 21].

Рассчитанные нами величины мощностей эквивалентных доз от излучения ^{210}Po для черноморского шпрота и хамсы были равны 17,1 и 22,4 мЗв·год$^{-1}$ соответственно [17].

Величины максимальных концентраций ^{210}Po в моллюсках Черного моря изменялись от 31,6 до 74,8 Бк·кг$^{-1}$ сырой массы (таблица). Размах рассчитанных для них максимальных мощностей поглощенных доз составил 0,85-2,0 мГр·год$^{-1}$, а мощностей эквивалентных доз – 16,9-40 мЗв·год$^{-1}$.

Графическое сравнение мощностей эквивалентных доз для исследованных нами проб хамсы, устриц и мидий представлено на рис. 3.

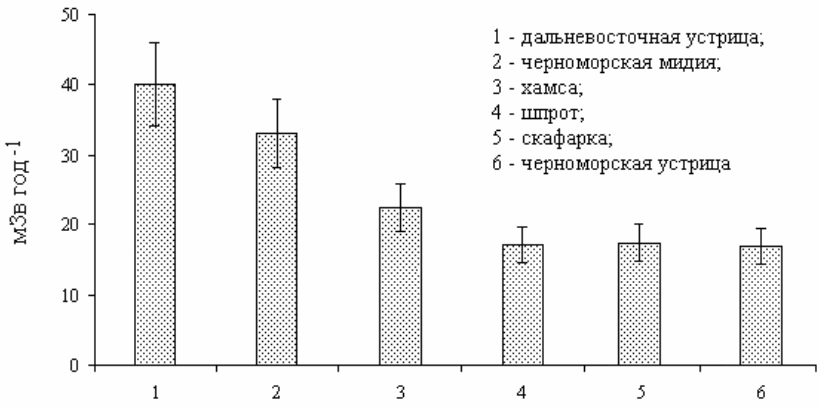

Рис. 3. Мощности эквивалентных доз в коммерчески значимых видах рыб и моллюсков Черного моря

Как известно, по предложению МАГАТЭ, предел мощности дозы, при котором отрицательные эффекты воздействия ионизирующего излучения на биоту еще не регистрируются, равен 4 Гр·год$^{-1}$ [16]. На наш взгляд, предложенный МАГАТЭ безопасный предел облучения биоты следует представлять в зивертах.

Численное сравнение максимальных величин мощностей эквивалентных доз, рассчитанных для исследованных нами гидробионтов, с пределом мощности дозы, рекомендованным МАГАТЭ, показало, что для коммерчески значимых видов черноморских моллюсков она была в 100 (для *G. gigas*) и 235 (для *O. edulis*) раз ниже предложенного уровня. Для других моллюсков разница между рассчитанными мощностями доз и предложенным МАГАТЭ пределом определяется внутри этого размаха величин. Для черноморской хамсы и шпрота их величины были почти в 1,5-2,1 раза ниже, чем для дальневосточной гигантской устрицы и мидий.

Максимальные величины эквивалентных доз облучения от ^{210}Po для исследованных нами видов черноморских рыб и моллюсков (таблица) были внесены в схему, представляющую графически концептуальную модель зонирования доз хронического облучения биоты [23] (рис. 4), из которого видно, что уровни облучения рыб и моллюсков Черного моря от излучения альфа-частиц природного радионуклида ^{210}Po расположены в зоне физиологической маскировки.

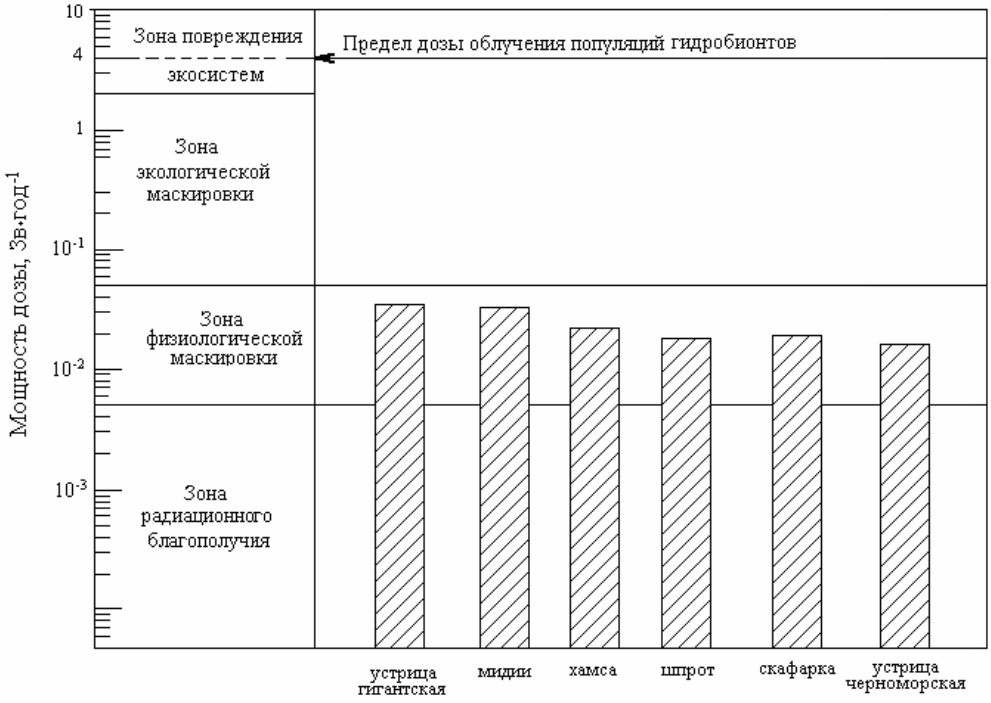

Рис. 4

Полученные нами результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Мощности эквивалентных доз, формируемые альфа-частицами ^{210}Po в исследованных черноморских гидробионтах, находятся в пределах величин, полученных другими исследователями для морских организмов, принадлежащих к тем же видам, обитающих в других морях и океанах [1,4-6].

2. Для черноморских моллюсков максимальные дозы от излучения альфа-частиц ^{210}Po в 100-235 раз

ниже предложенного МАГАТЭ уровня доз [16], при котором еще не регистрируется негативное влияние на популяции водных организмов. Для хамсы и шпрота это соотношение в 1,5-2 раза больше, чем для моллюсков.

3. В соответствии с концептуальной моделью зонирования доз хронического облучения для биоты [23], мощности эквивалентных доз облучения, формируемых альфа-частицами ^{210}Po в черноморских моллюсках (устрицы, мидии) и рыбах (хамса, шпрот) находятся в зоне физиологической маскировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cherry R.D., Shannon L.V. The alpha radioactivity of marine organisms // Atomic Energy Rev. – 1974. – Vol. 12. – P. 3-45.
2. Aarkrog A., Baxter M.S., Battercourt A.O. et al. A comparison of doses from ^{137}Cs and ^{210}Po in marine food: A Major International Study // J. Environ. Radioactivity. – 1997. – Vol. 34. – № 1. – P. 69-90.
3. Amiro B.D. Radiological dose conversion factors for generic non-human biota used for screening potential ecological impacts // J. Environ. Radioactivity. – 1997. – Vol. 35. – № 1. – P. 37-51.
4. Strand P., Brown J.E., Larsson C.-M. Framework for the protection of the environment from ionizing radiation // Radiation Protection Dosimentry. – 2000. – Vol. 92. – № 1-3. – P. 169-175.
5. Nielsen S.P., Hou X. Environmental data / Report of working Group B, Annex B: MARINA II «Update of the Marina Project on the radiological exposure of the European Community from radioactivity in North European marine waters». – European Commission. – 2002 – P. 11-25.
6. Sazykina T.G., Kryshev I.I. Assessment of the impact of radioactive substances on marine biota of North European waters / Report of Working Subgroup D* to Project «Marina II. Assessment of the impact of radioactive substances on marine biota of north European waters». – NNC Limited: C6496/TR/004, Issue 3. – August 2002. – 75 p.
7. Marine Environmental Assessment of the Black Sea. Working Material. Regional Technical Co–operation Project RER/2/003. – Vienna: Reproduced by the IAEA, 2004. – 358 p.
8. Lazorenko G.E. Accumulation of ^{210}Po by the Black Sea fishes // High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, Radiation Dose and Health Effects: Proceed. of 5th Conf. Munich, 4-7 Sept., 2000. – BfS-Schriftenreihe, ISSN 0937-4469. – 2000. – Vol. II. – P.15-18.
9. Лазоренко Г.Е., Поликарпов Г.Г., Болтачев А.Р. Естественный радиоэлемент полоний в основных экологических группах черноморских рыб // Биология моря.. – 2002. – Том 28. – № 1. – С. 61-65.
10. Лазоренко Г.Е. Распределение природного радионуклида ^{210}Po в компонентах экосистемы Черного моря // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. – С. 311-337.
11. Chen Q., Dalhgaard H., Nielsen S.P., Aarkrog A. Determination of ^{210}Po and ^{210}Pb in Mussel, Fish, Sediment, Petroleum / Department of Nuclear Safety Research and Facilities, Risoe National Laboratory, Denmark. – November 1998. – 1998. – 10 p.
12. Blaylock B.G., Frank M.I., O'Neal B.R. Methodology for estimating radiation dose rates to freshwater biota exposed to radionuclides in the environment / Report ES/ER/TM–78, Oak Ridge National laboratory, TN. – 1993. – 10 p.
13. Thomas P., Liber K. An estimation of radiation doses to benthic invertebrates from sediments collected near a Canadian uranium mine // Environment International. – 2001. – Vol. 27. – P. 341-353.
14. Зуев Г.В., Гаевская А.В., Корнийчук Ю.М., Болтачев А.Р. О внутривидовой дифференциации черноморского шпрота (*Sprattus sprattus phalericus*) у побережья Крыма (предварительное сообщение) // Экология моря. – 1999. – Вып. 49. – С.10-16.
15. НРБУ/ОСПУ. Нормы радиационной безопасности Украины. Основные санитарные правила, регламенты и требования относительно порядка применения: Государственные санитарные правила ГСП 6.6.1–6.6.087–02 / Академия медицинских наук Украины, Министерство здравоохранения Украины, Комитет по вопросам гигиенического регламентирования, Национальная Комиссия по радиационной защите населения Украины. – Киев, 2002.– 92 с.
16. IAEA. Effects of ionizing radiation on plants and animals at levels implied by carrent radiation protection standards. IAEA Technical report Series № 332. – Vienna (Austria): IAEA. – 1992.
17. Лазоренко Г.Е., Поликарпов Г.Г. Оценка дозовых нагрузок на гидробионтов Черного моря от излучения альфа-частиц природного радионуклида ^{210}Po // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. – С. 381-388.
18. Гродзинський Д.М. Радіобіологія: Підручник. – К.: Либідь, 2000. – 448 с.
19. Strålberg E., Varskog A.Th.S., Rauum A., Varskog P. Naturally occurring radionclides in marine environment – an overview of current knowledge with emphasis the North Sea area. Report ND/E–19/03 to the Project of the Research Council of Noway's Programme «Long–term impact of discharges to sea from the petroleum indutry» (Proof) / Ed. by P. Varskog. – Kjeller: Norse Decom AS, 2003. – 57 p.
20. Поликарпов Г.Г. Радиохемоэкология, коэволюция и экоэтика // Чтения памяти Н. В. Тимофеева-Ресовского: 100-летию со дня рождения Н.В. Тимофеева-Ресовского посвящается. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2000. – С. 52-61.
21. Поликарпов Г.Г. Радиационная защита биосферы, включая *Homo sapiens*: выбор принципов и поиски решения // Морской экологический журнал. – 2006. – Т. 5. – № 1. – С. 16-34.
22. Поликарпов Г.Г, Лазоренко Г.Е.. Применение понятий поглощенной и эквивалентной дозы ионизирующих излучений в радиационной экологии // Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / Под ред. Г.Г. Поликарпова и В.Н. Егорова. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. – С. 358-361.
23. Polikarpov G.G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems to all possible dose rates of ionising radiation in the environment // Radiation Protection Dosimetry. – 1998. – Vol. 75. – № 1-4. – P. 181-185.

Рецензенти: Єгоров В.М., чл.-кор. НАН України, професор, д.б.н.;
Томілін Ю.А., д.б.н., професор

© Лазоренко Г.Є., Полікарпов Г.Г., 2009

Стаття надійшла: 12.03.2009 р.