

Российская академия наук
Федеральное агентство научных организаций
Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского
Институт океанологии имени П. П. Ширшова
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Межведомственная ихтиологическая комиссия
Центральное Управление по рыбохозяйственной экспертизе и нормативам
по сохранению, воспроизводству водных биологических ресурсов и
акклиматизации ФГБУ «ЦУРЭН»
Российский фонд фундаментальных исследований

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ:
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, БИОИНДИКАЦИЯ,
НОРМИРОВАНИЕ**

**Всероссийская научная конференция с международным участием,
посвященная 125-летию профессора В. А. Водяницкого**

СБОРНИК СТАТЕЙ

Севастополь, 28 мая – 1 июня, 2018 г.



Севастополь
«Колорит»
2018

УДК 574.24
ББК 26.221+28.080.1
3 14

Печатается при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-04-20013

Ответственный редактор

д.б.н., проф. Руднева И. И.

Рецензент

д.б.н., проф. Филенко О. Ф.

Редакционная коллегия: д.б.н., проф. Солдатов А. А., к.б.н., доц. Залевская И. И.

3 14 **Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование** : сборник статей Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого, Севастополь, 28 мая – 1 июня, 2018 г. – Севастополь : «Колорит», 2018. – 327 с.
ISBN 978-5-60-400-20-8-7

В сборнике представлены статьи участников Всероссийской научной конференции с международным участием «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование», посвященной 125-летию профессора В. А. Водяницкого, которая состоялась 28 мая – 1 июня 2018 г. в Севастополе. Широко обсуждаются проблемы современного статуса и тенденций экологических изменений морей Российской Федерации. Приведены сведения об источниках загрязнения, основных загрязняющих веществах, их содержании в окружающей среде и в тканях гидробионтов. Представлены результаты исследований и оценки состояния водных организмов и биологических сообществ, подвергающихся разным видам антропогенного воздействия. Рассмотрены объекты и методы биоиндикации морской среды и экологического мониторинга, а также проблемы нормирования и биотестирования загрязнения морей и океанов. Особое внимание уделено экологическим последствиям нетоксичного загрязнения морских экосистем (радиоактивное, электромагнитное, механическое и пр.).

Предназначен для широкого круга биологов, экологов, гидробиологов, специалистов в области аквакультуры, охраны окружающей среды и рыболовства.

УДК 574.24
ББК 26.221+28.080.1

Pollution of marine environment: ecological monitoring, bioassay, standardization:
collection of the papers of the Russian scientific conference with international participation devoted to 125th anniversary of prof. V. A. Vodyanitsky, Sevastopol, May 28 – June 1, 2018. – Sevastopol: "Colorit", 2018. – 327 p.
ISBN 978-5-60-400-20-8-7

The original papers of the participants of the Russian scientific conference with the international participation “Marine pollution: ecological monitoring, bioassay, norming” devoted to 125th anniversary of professor V. A. Vodyanitsky, which was held on May 28 – June 1, 2018 in Sevastopol are presented. The problems of recent state and the main trends of ecological changes of the seas of Russian Federation are discussed. The information about the pollution sources, highly distributed contaminants, their content in the marine environments and in the tissues of aquatic organisms is presented. The results of the study and the evaluation of marine organism's status and populations impacted on different kinds of anthropogenic activity are presented. The test-organisms and the bioassay methods of marine environments are shown, as well as the problems of norming and ecological evaluation of the pollution level of the seas and ocean are observed. The attention focused on the ecological consequences of non-toxic pollution of marine environment namely radioactive, electromagnetic, mechanical, etc. These papers are intended for specialists in biology, ecology, hydrobiology, aquaculture, environment protection, ichthyology, and other adjacent sciences.

Утверждено к печати Учёным советом
ФГБУН «Институт морских биологических исследований
имени А. О. Ковалевского РАН» (протокол № 3 от 03 апреля 2018 г.)

© Авторы статей, 2018
© ФГБУН ИМБИ РАН

ISBN 978-5-60-400-20-8-7

Livingstone D. R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // Marine Pollution Bulletin. 2001. Vol. 42, iss. 8. P. 656–666. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00060-1)

Lucas J. M., Vaccaro E., Waite J. H. A molecular, morphometric and mechanical comparison of the structural elements of byssus from *Mytilus edulis* and *Mytilus galloprovincialis* // Journal of Experimental Biology. 2002. Vol. 205, iss. 12. P. 1807–1817.

Nasci C., Da Ros L., Campesan G., Van Vleet E. S., Salizzato M., Sperti L. Clam transplantation and stress-related biomarkers as useful tools for assessing water quality in coastal environments // Marine Pollution Bulletin. 1999. Vol. 39, iss. 1-12. P. 255–260. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00094-6)

Soldatov A. A., Gostyukhina O. L., Golovina I. V. Functional states of antioxidant enzymatic complex of tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lam. under conditions of oxidative stress // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2014. Vol. 50, iss. 3. P. 206–214. <https://doi.org/10.1134/S0022093014030028>

BIOINDICATION OF THE QUALITY OF THE MARINE ENVIRONMENT AND ANTIOXIDANT ENZYME COMPLEX OF BIVALVES

Soldatov A. A., Gostyukhina O. L., Golovina I. V.

The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol, Russia, alekssoldatov@yandex.ru

Abstract. The antioxidant enzyme system of the mussel's hepatopancreas showed high sensitivity to the natural states of the organism. On the contrary, in gills antioxidant system turned to be more sensitive to the marine environment. Quantitative changes in the activity of enzymes were similar in hepatopancreas and gills of the mussels. Gill tissue of molluscs is recommended to use for the researches of environment diagnostics.

Key words: antioxidant system, bivalves, gills, ecodiagnostics.

УДК 574+628.19:504.054(262.5)

РОЛЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКОСИСТЕМЫ И СВОЙСТВ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ В ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОМ НОРМИРОВАНИИ

Терещенко Н. Н.

Институт морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия, ntereshchenko@yandex

Аннотация. Предложен метод экологического нормирования техногенных радионуклидов в морских экосистемах с учетом влияния их функционирования и свойств загрязнителя на его судьбу в водоеме и на самоочищение вод. Разработана схема-алгоритм проведения исследований и анализа данных для определения биогеохимических и эквидозиметрических критериев нормирования на примере долгоживущих техногенных радионуклидов плутония.

Ключевые слова: критерии экологического нормирования, Черное море, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, экосистема, экологическое состояние.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях все возрастающего антропогенного влияния на природные экосистемы, в частности, поступления в них химического и радиоактивного загрязнения встал вопрос о пересмотре существующих подходов в оценке допустимого воздействия на экосистемы (IAEA, 2002; Алексахин; Фесенко, 2004; Радиоэкологический отклик..., 2008; Евстафьева и др., 2017). Решать задачу нормирования загрязнения экосистем, оценки их экологического состояния необходимо для сохранения биологического разнообразия и обеспечения устойчивого баланса между удовлетворением потребностей человека и возможностью экосистемы восстанавливать потребляемые или разрушаемые ресурсы — реализации устойчивого развития регионов, в первую очередь особо уязвимых экосистем, таких как прибрежные морские акватории.

Одним из техногенных факторов окружающей среды служит ионизирующее излучение радиоактивных веществ антропогенного происхождения, в частности, радиоизотопов плутония ($^{238,239,240}\text{Pu}$). Они поступают в природные экосистемы в результате нормативных и аварийных выбросов при использовании ядерных технологий. По состоянию на 2018 г. на атомных электростанциях (АЭС) во всем мире работают 448 реакторов, 57 — в процессе строительства и 166 выведены из эксплуатации (IAEA. PRIS, 2018). Кроме энергетики, радионуклиды плутония находят свое применение в космических технологиях, приборостроении, медицине и других областях, а ^{239}Pu — один из основных компонентов боезарядов ядерного оружия. Радионуклиды плутония $^{239,240}\text{Pu}$ — альфа-излучающие долгоживущие изотопы. Накапливаясь в морских и пресноводных водоемах, количество долгоживущих $^{239,240}\text{Pu}$ на масштабе сотен лет практически не уменьшается за счет радиоактивного распада, а увеличивается от инцидента к инциденту и, как источники ионизирующего излучения, они формируют хронический экологический фактор (Радиоэкологический отклик..., 2008). В большинстве природных экосистем, уровни загрязнения радионуклидами плутония $^{239,240}\text{Pu}$ низкие и не вызывают негативных изменений в природных популяциях. Но уже есть целый ряд сухопутных и водных экосистем, в частности, на территории Евразии, где в результате техногенного радиоактивного загрязнения достигнуты уровни загрязнения, оказывающие поражающее воздействие на биоту. С развитием радиобиологии и радиоэкологии было показано, что принцип, который был принят в 90-е годы XX века в радиационной защите, утверждавший, что достаточно защитить человека и при этом будет защищена и окружающая среда, не оправдал себя (IAEA, 2002; Алексахин; Фесенко, 2004; Радиоэкологический отклик..., 2008). Изучение последствий радиационных аварий показало, что население в зоне аварии на Южном Урале в 1957 г. получило дозы в 10–100 раз меньше, чем животные и растения (Алексахин, Фесенко, 2004). Аналогичные данные были получены в зоне Чернобыльской АЭС (ЧАЭС). Поэтому наряду с существующими нормами радиационной безопасности для человека необходимо экологическое нормирование антропогенного загрязнения в водоемах.

В радиохемозологии в отношении нормирования поступления загрязнителя в морскую среду в 80-е годы XX века был предложен динамический подход к понятию экологической емкости морской среды (Поликарпов, Егоров, 1986) как характеристики, определяющейся процессами самоочищения морских вод от загрязнителей за счет биотических механизмов. При этом количественно экологическая емкость морской среды была выражена суммой потоков выноса загрязнителя из водных масс. Поэтому, именно определение и сравнение потоков выноса загрязнения из водной среды, из ее основного функционального слоя — поверхностного фотического слоя вод за счет разных (абиотических и биотических) естественных составляющих и определение среди них ведущих процессов, было положено в основу нашего метода.

Наряду с этим развивался эквидозиметрический подход по оценке уровней влияния ионизирующих излучений на биоту. Г.Г. Поликарповым была сформулирована Концептуальная модель зональности хронического действия мощностей доз ионизирующих излучений в природе (в дальнейшем Концептуальная модель Поликарпова) (Радиоэкологический отклик..., 2008). Она послужила основой эквидозиметрического сравнительного анализа в нашей работе и осуществления перехода от потока загрязнителя к дозовым нагрузкам и оценке экологического состояния биоты.

Целью настоящей работы была разработка метода оценки, текущей и прогностической экологической ситуации морских акваторий в отношении радионуклидов плутония на основе предложенной схемы-алгоритма проведения исследований и анализа полученных результатов, для определения биогеохимических и эквидозиметрических критериев экологического нормирования поступления радионуклидов плутония в водную среду, а также реализация метода для акватории Севастопольской бухты как модельной прибрежной экосистемы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в Черном море в постчернобыльский период. Пробы были отобраны в ходе многочисленных морских и прибрежных экспедиций, преимущественно в северо-западной и центральной, а также в южной и восточной частях моря, прибрежных акваториях Крымского полуострова, Севастопольской морской акватории (Радиоэкологический отклик..., 2008; Егоров и др., 2013; Tereshchenko, 2017). Радионуклиды плутония были выбраны в качестве консервативного антропогенного загрязнителя, так как физический метод количественного измерения радионуклида (альфа-спектрометрия) позволяет определять очень низкие концентрации в объектах окружающей среды, используя их как трассеры в натурных исследованиях природных процессов. Концентрационную активность радионуклидов плутония ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ определяли в черноморских донных отложениях, воде, взвешенном веществе, гидробионтах. Плутоний из природных образцов концентрировали, очищали и выделяли по известным методикам (Радиоэкологический отклик..., 2008). Активность радионуклидов измеряли на альфа-спектрометре "EG&G ORTEC BERTHOLD–WALLAC". Радиоизотоп ^{242}Pu в пробы вносили в качестве радиоактивного трассера химического выхода плутония, который составлял 40–80%. Ошибка определения $^{239+240}\text{Pu}$ в пробах осадков не превышала 13 %, морской воды и гидробионтов — 20%.

Были также использованы методы радиоизотопной геохронологии загрязнения донных отложений, определения скорости биогеохимической седиментации взвешенного вещества и осадконакопления, биогеохимических седиментационных потоков плутония в донные осадки (Радиоэкологический отклик..., 2008, Егоров и др., 2013), оценки гидрологического и биоаккумуляционного выноса $^{239+240}\text{Pu}$ макробиотой. Определение типа биогеохимического поведения Pu проводили по коэффициентам накопления радионуклида биотическими и абиотическими компонентами черноморских экосистем (Радиоэкологический отклик..., 2008) и долевого распределения радионуклида между компонентами. Дозовые нагрузки рассчитывали по общепринятым методикам. Учитывая короткий путь пробега альфа-частиц в воде и биологических тканях, дозовые нагрузки для биоты рассчитывали только от инкорпорированных $^{239+240}\text{Pu}$. Эквидозиметрический сравнительный анализ для определения уровней экологического влияния на гидробионты был выполнен по Концептуальной модели Поликарпова (Радиоэкологический отклик..., 2008).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В предлагаемом методе оценки текущей экологической ситуации в водоемах и их отдельных акваториях, ее прогноза, а также формирования рекомендаций по управлению состоянием акваторий, основанном на экологическом нормировании поступления в природные экосистемы антропогенных загрязнителей, показана необходимость учета при нормировании не только количества поступающего поллютанта в водную экосистему, но и учет влияния функционирования экосистемы на его перераспределение и природы самих радионуклидов (миграционный аспект), а также оценки формируемых ими дозовых нагрузок — мощности дозы, как основного показателя влияния ионизирующего излучения радионуклидов на биоту, и экологических эффектов, вызываемых дозовыми нагрузками у гидробионтов (эквидозиметрический аспект). Поэтому первая часть нашей работы была посвящена изучению миграционного аспекта.

Исследование типа биогеохимического поведения радионуклида — необходимый этап для определения, ведущего (или нескольких основных) процессов элиминации загрязнителя из водной среды для выбора биогеохимического критерия нормирования. По результатам изучения уровней концентрационной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в воде, донных отложениях, макроводорослях, моллюсках и рыбах были определены коэффициенты накопления $^{239+240}\text{Pu}$ ($K_n(\text{Pu})$) в компонентах черноморских экосистем в сравнении с таковыми для техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr (Радиоэкологический отклик..., 2008; Tereshchenko, 2017). $K_n(\text{Pu})$ для иловых донных отложений K_n составили для Pu , Cs и Sr , соответственно, $n \times 10^5$, $n \times 10^2$ и $n \times 10^0$. Для гидробионтов (макроводоросли, моллюски и рыбы) они изменялись в пределах $n \times 10^2 - n \times 10^4$ для $^{239+240}\text{Pu}$, $n \times 10^1$ для ^{137}Cs и $n \times 10^1 - n \times 10^2$ для ^{90}Sr . Величины $K_n(\text{Pu})$ свидетельствуют о наличии ряда особенностей биогеохимического поведения плутония. Плутоний характеризуется более высокой аккумуляционной способностью, как в отношении донных отложений, так и биотических компонентов по сравнению с ^{137}Cs и ^{90}Sr . Кроме того $K_n(\text{Pu})$ для донных отложений выше на 2–4 порядка величин, чем для гидробионтов. Это указывает на ведущую роль донных отложений в процессах перераспределения плутония из воды.

Фактор радиоемкости по нашим оценкам для Черного моря в отношении плутония для иловых осадков изменялся от 94.5 до 99.9%, а для песчаных — от 28.3 до 98.9%, увеличиваясь от глубоководных районов к мелководью (Tereshchenko et al., 2017). Так как иловые донные отложения в Черном море составляют более 80%, то это способствует реализации ведущей роли иловых донных отложений в перераспределении плутония в экосистеме моря. При расчете доли аккумулярованных $^{239+240}\text{Pu}$, поступивших в Черное море после аварии на Чернобыльской АЭС, было установлено, что за период с 1988 по 2013 гг. 90.7% радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$, находившихся в толще вод, перераспределились в донные отложения, что согласуется с оценкой величины фактора радиоемкости моря в пределах точности определения величин. При этом содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в воде составило 9.16, а на долю биоты пришлось всего 0.17% плутония от исходного его содержания в воде. Полученные результаты исследований свидетельствуют о ярко выраженном педотропном типе биогеохимического поведения плутония в Черном море.

Основное депо плутония в море — иловые донные отложения (Tereshchenko et al., 2017). Основным процессом формирования донных отложений служит биогеохимическая седиментация. В связи с этим, были определены потоки с помощью метода геохронологической реконструкции плутониевого и цезиевого загрязнения в донных отложениях и с использованием полученных величин рассчитаны скорости осадконакопления и скорости седиментации взвешенного вещества. В постчернобыльский период среднегодовые биогеохимические седиментационные потоки $^{239+240}\text{Pu}$ составили в разных районах моря величины от 0.05 до 4.7 Бк $\text{м}^{-2} \text{год}^{-1}$. В

устье Днепровско–Бугского лимана они были равны 3.4–4.11, у устья р. Дунай — 0.8–1.3, в Севастопольских бухтах (Севастопольская, Балаклавская, Стрелецкая, Казачья) — 0.5–1.5, на континентальном склоне — около 0.05, в западной части глубоководного бассейна моря в 2008–2013 гг. до 0.08 Бк м⁻² год⁻¹ (Радиоэкологический отклик..., 2008; Егоров и др., 2013; Tereshchenko et al., 2017).

По уровням ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в организмах были рассчитаны дозовые нагрузки для разных таксономических групп гидробионтов (Поликарпов и др., 2008; Tereshchenko, 2017) и определены уровни экологического воздействия мощностей доз от альфа-излучения ²³⁹⁺²⁴⁰Pu на биоту, используя Концептуальную модель Поликарпова. На основе этой модели также рассчитаны пограничные концентрационные активности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu для каждой из выделенных зон экологического воздействия для текущей и прогнозных оценок в широком диапазоне концентраций радиоизотопов в воде (табл.).

Таблица

Пограничные концентрационные активности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в воде (C_{воды}²³⁹⁺²⁴⁰Pu) для зон воздействия на разные группы гидробионтов при хроническом облучении

Представители гидробионтов	C _{воды} ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu для каждой зоны ожидаемого экологического воздействия, Бк·л ⁻¹					Наименьшая попутельная дозовая нагрузка, Зв год ⁻¹ (Поликарпов, 2008)
	Зона 1 – неопределенности	Зона 2 – радиационного благополучия	Зона 3 – физиологической маскировки	Зона 4 – экологической маскировки	Зона 5 – Поражения экосистем	
Фитопланктон	5.8×10 ⁻⁹	2.3×10 ⁻⁶	2.9×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻³	2.1×10 ⁻¹	60
Макроводоросли	1.1×10 ⁻⁶	4.3×10 ⁻⁴	5.3×10 ⁻²	5.3×10 ⁻¹	3.9×10 ¹	60
Ракообразные	5.1×10 ⁻⁶	2.0×10 ⁻³	2.5×10 ⁻¹	2.5×10 ⁰	1.8×10 ²	60
Мидии	1.1×10 ⁻⁵	8.4×10 ⁻³	5.0×10 ⁻¹	5.0×10 ⁰	4.0×10 ²	200
Рыбы	4.5×10 ⁻⁶	1.8×10 ⁻³	2.2×10 ⁻¹	2.2×10 ⁰	1.6×10 ²	14

Опираясь на зональность действия на гидробионты мощностей доз от ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в широком диапазоне их уровней в морской воде и пограничные концентрационные активности ²³⁹⁺²⁴⁰Pu для каждой зоны, можно описать ожидаемую степень воздействия на биоту данного уровня загрязнения водной среды. Можно рассчитать поток поступления радиоизотопов за год (или любой другой период времени), при котором будет достигнута граница каждой зоны. Поток, при котором достигается пограничная концентрационная активность ²³⁹⁺²⁴⁰Pu для Зоны 5 (табл.), служит биогеохимическим критерием для экологического нормирования, так как приводит к достижению предела допустимой дозовой нагрузки для популяций гидробионтов, превышение которой ведет к негативным изменениям в популяциях биоты (IAEA, 1992).

На основе полученных результатов и литературных данных нами предложена схема-алгоритм, которая включает в себя 4 основных этапа реализации: 1) натурные наблюдения: определение уровней загрязнения компонент экосистемы и выявление особенностей миграции радионуклида; 2) определение типа биогеохимического поведения радионуклида и ведущего биогеохимического критерия; 3) оценка дозовых нагрузок и определение эквидозиметрического критерия экологического действия загрязнителя на основе Концептуальной модели Поликарпова и 4) оценка (текущая или

прогнозная) экологической ситуации в акватории или водоеме в целом, расчет биогеохимического критерия нормирования загрязнителя для акватории. В качестве примера выполнена реализация данного алгоритма на примере прибрежной черноморской акватории. Модельным объектом послужила Севастопольская бухта. Сравнительное исследование разных потоков выноса показало, что основным биогеохимическим критерием для оценки элиминации радионуклидов плутония из водной среды служит поток биогеохимической седиментации в акватории. Его доля в выносе плутония из водной среды составляет более 99%. На долю гидрологического выноса приходится 0.19%. Удельный поток плутония, изымаемый многолетними гидробионтами, составил 0.12%.

Таким образом, опираясь на биогеохимические критерии нормирования консервативных загрязнителей, учитывающих реально существующие количественные характеристики самой экосистемы и свойств загрязнителя, а также на формируемые мощности доз, как эквидозиметрический критерий, определяющийся радиологическими свойствами радионуклидов и аккумуляционной способностью гидробионтов, используя Концептуальную модель Поликарпова, предложен метод определения экологической ситуации в водоеме или отдельно взятой акватории в широком диапазоне концентраций загрязнителя в воде. Метод реализуется с использованием схемы-алгоритма проведения исследований и анализа полученных результатов для оценок экологической ситуации в акваториях и расчета нормативных показателей допустимого поступления загрязнителя в морскую водную среду. Предлагаемый метод экологического нормирования поступления загрязнения и оценки экологической ситуации в акватории отличается от принятого нормирования по предельно-допустимой концентрации, определяемой посредством токсикологических тестов. В данном подходе учитываются конкретные биогеохимические характеристики исследуемой экосистемы (продуктивность, биогеохимические седиментационные потоки, аккумуляционная способность компонент экосистемы, радиочувствительность организмов, гидрологический режим акватории) и рассматриваемого загрязнителя (тип биогеохимического поведения радионуклида, его радиологические свойства), что позволяет более точно оценить способность вод к самоочищению и рассчитать критерии экологического нормирования, формировать рекомендации по управлению состоянием акватории.

Работа подготовлена по научно-исследовательской работе по теме ФГБУН ИМБИ «Суперпозиция физических, химических и биологических процессов в формировании качества морской среды и функционального состояния гидробионтов в Азово-Черноморском бассейне» № 0828-2018-0007, номер гос. регистрации № АААА-А18-118020790154-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексахин Р. М., Фесенко С. В. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы // Радиационная биология. Радиоэкология. 2004. Т. 44, № 1. С. 93–103.

Евстафьева Е. В., Белалов В. В., Залата О. А., Московчук О. Б., Слюсаренко А. Е., Нараев Г. П., Сологуб Н. А., Евстафьева И. А., Бояринцева Ю. А. Медико-экологический мониторинг в Крыму как основа для реализации ноосферных принципов развития региона // Крым — эколого-экономический регион. Пространство ноосферного развития : материалы I Междунар. экологического форума в Крыму 2017 г. – Севастополь : Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. С. 11–14.

Егоров В. Н., Гулин С. Б., Поповичев В. Н., Мирзоева Н. Ю., Терещенко Н. Н., Лазоренко Г. Е., Малахова Л. В., Плотицына О. В., Малахова Т. В., Проскурнин В. Ю., Сидоров И. Г., Гулина Л. В., Стецюк А. П., Марченко Ю. Г. Биогеохимические

механизмы формирования критических зон в Черном море в отношении загрязняющих веществ // Морской экологический журнал. 2013. Т. 12, № 4. С. 5–26.

Поликарпов Г. Г., Егоров В. Н. Морская динамическая радиохеомоэкология. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. 176 с.

Радиоэкологический отклик Черного моря на чернобыльскую аварию / под ред. Г. Г. Поликарпова, В. Н. Егорова. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. 667 с.

IAEA. Effects of ionizing radiation on plant and animals at levels implied by current radiation protection standards. Vienna (Austria) : IAEA, 1992. P. 75. (Technical Report Series; no. 332).

IAEA. Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation : A Report for Discussion. – Vienna (Austria) : IAEA, 2002. (IAEA – TECDOC–1270).

IAEA. PRIS. Operational & Long-Term Shutdown Reactors [Electronic resource]. Available at: <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx> (accessed 06.02.2018).

Tereshchenko N. N., Gulin S. B., Proskurnin V. Yu. Distribution and migration of $^{239+240}\text{Pu}$ in abiotic components of the Black Sea ecosystems during the post-Chernobyl period // Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 188. P. 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.10.002>

Tereshchenko N. Levels of activity concentration, migration and dose rates on biota from alpha-radioisotopes of plutonium in the Black sea ecosystem // Diversity in the Coastal Marine Sciences: Historical Perspectives and Contemporary Research of Geology, Physics, Chemistry, Biology and Remote Sensing / Eds.: C. W. Finkl, C. Makowski. – Dordrecht, The Netherlands : Springer, 2018. Ch. 16. P. 247–273. (Coastal Research Library ; vol. 23). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57577-3>

THE ROLE OF ECOSYSTEM CHARACTERISTICS AND POLLUTANT PROPERTIES IN ITS ECOLOGICAL RATIONING

Tereshchenko N. N.

The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol, Russia,
ntereshchenko@yandex

Abstract. A method of ecological rationing of marine areas based on the effect of the ecosystem functioning and the pollutant properties on its fate in the ecosystem and the self-purification of waters is proposed. A scheme-algorithm for the analysis of the obtained results for determining biogeochemical and equidosemetric criteria of ecological rationing using long-lived man-made radionuclides of plutonium was created.

Key words: environmental rating criteria, the Black Sea, $^{239+240}\text{Pu}$, ecosystem, ecological state.