

Министерство науки и высшего образования РФ
Правительство города Севастополя
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»
Всероссийское гидробиологическое общество при Российской академии наук
Русское географическое общество
Паразитологическое общество при Российской академии наук

Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

Международная научная конференция, посвящённая 150-летию
Севастопольской биологической станции —
Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского
и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий»

Тезисы докладов

13–18 сентября 2021 г.
Севастополь, Российская Федерация

Севастополь
ФИЦ ИнБЮМ
2021

Антропогенные радиоизотопы плутония в компонентах экосистемы Севастопольской бухты

Параскив А. А.¹, Терещенко Н. Н.¹, Проскурнин В. Ю.¹, Чужикова-Проскурнина О. Д.¹,
Платаев А. П.², Трапезников А. В.²

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

²ФГБУН «Институт экологии растений и животных УрО РАН», Екатеринбург, Россия

paraskiv@ibss-ras.ru

Среди 19 радиоактивных изотопов плутония, в современный период практически полностью являющихся продуктом антропогенной деятельности человека, на сегодняшний день роль основных альфа-излучающих долгоживущих дозообразующих радиоизотопов играют изотопы ²³⁹Pu и ²⁴⁰Pu с периодами полураспада 24400 и 6620 лет соответственно. Они поступили в экосистемы Чёрного моря в значительных количествах, в основном в результате глобальных радиоактивных выпадений после испытаний ядерного оружия, а также после аварии на Чернобыльской АЭС [Поликарпов и др., 2008]. Периоды полураспада, составляющие тысячи лет, обуславливают тот факт, что, попадая в морские экосистемы, радиоизотопы плутония не выводятся из них, а преимущественно перераспределяются в их биотических и абиотических компонентах. Поэтому вызывает интерес количественная оценка процессов перераспределения радиоизотопов плутония в морских экосистемах.

Севастопольская бухта является самой большой на юго-западном побережье Крымского полуострова, она широко используется в хозяйственной и рекреационной сферах, является транспортным узлом, принимающим военные и пассажирские суда. При этом в экосистеме бухты обитает большое количество видов гидробионтов, многие из которых служат объектами промысла и употребляются в пищу человеком. Согласно рекомендательным документам Росгидромета, представительными объектами морских экосистем в рамках оценки радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды являются рыбы, моллюски и макрородосли [Р52.18.820-2015].

Целью данной работы была оценка современных (2010–2020) уровней удельной активности радиоизотопов плутония в воде, донных отложениях и представительных видах гидробионтов Севастопольской бухты, а также расчёт запасов ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в поверхностном слое донных отложений и коэффициентов накопления (K_n) ²³⁹⁺²⁴⁰Pu для донных отложений и представительных видов гидробионтов бухты.

Пробы отбирались в 2010–2020 гг. в Севастопольской бухте, от устьевой части до кутовой, где в бухту впадает река Чёрная. Кроме того, для сравнительной оценки пробы отбирались на рейде г. Севастополя, в открытой части моря, за пределами бухты. Осуществляли отбор проб поверхностной воды (1000 л), проб верхнего, 0–5-см слоя донных отложений, а также особей рыб [*Spicara taena* (Linnaeus, 1758) и *Scorpaena porcus* (Linnaeus, 1758)], двусторчатых моллюсков [*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819)] и макрофитов [бурых водорослей *Cystoseira barbata* (C. Agardh, 1820) и зелёных водорослей *Cladophora laetevirens* (Kützinger, 1843)]. Все пробы подвергались многоступенчатой радиохимической обработке в отделе радиационной и химической биологии ФИЦ ИнБЮМ (Поликарпов и др., 2008). Измерения проводились на альфа-спектрометрическом комплексе фирмы ORTEC (США) в отделе континентальной радиоэкологии ИЭРиЖ УрО РАН.

В результате проведённых исследований показано, что в поверхностной воде Севастопольской бухты объёмная активность $^{239+240}\text{Pu}$ изменялась от $(1,08 \pm 0,09)$ до $(1,54 \pm 0,17)$ МБк·м⁻³. При этом за пределами бухты, как в прибрежной части Чёрного моря, так и в глубоководной, объёмная активность $^{239+240}\text{Pu}$ в поверхностных водах в пределах статистической погрешности находилась на таком же уровне — от $(1,1 \pm 0,21)$ до $(1,66 \pm 0,21)$ МБк·м⁻³.

Наибольшие величины удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ среди компонент экосистемы Севастопольской бухты определены в поверхностном слое донных отложений — от (276 ± 53) МБк·кг⁻¹ сухой массы в кутовой части бухты до (993 ± 53) МБк·кг⁻¹ в устьевой части. За пределами бухты, на рейде г. Севастополя, удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ составила (110 ± 20) МБк·кг⁻¹. Однако стоит отметить, что донные отложения в бухте сложены в основном илами, тогда как за пределами бухты — преимущественно песками. Запасы радиоизотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях Севастопольской бухты оценивали исходя из её морфометрических характеристик, а также величин скорости осадконакопления и абсолютных масс донных осадков согласно ранее опубликованным данным [Егоров и др., 2018]. Суммарный запас $^{239+240}\text{Pu}$ в верхнем, 0–5-см слое донных осадков бухты составил 121 МБк, при этом максимальное значение получено для устьевого района (71,8 МБк), а минимальное — для кутовой части бухты (3,4 МБк).

Среди изученных видов гидробионтов Севастопольской бухты наименьшие значения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ определены в представителе донных рыб — морском ерше *S. porcus* [$(0,38 \pm 0,28)$ МБк·кг⁻¹ сырой массы]. В пелагобентосном черноморском окуне *S. taena* удельная активность $^{239+240}\text{Pu}$ составила $(1,11 \pm 0,28)$ МБк·кг⁻¹. Ранее проведённые исследования [Терещенко, 2013] показали, что в средиземноморских мидиях *M. galloprovincialis* более 90 % $^{239+240}\text{Pu}$ концентрируется в раковинах. Результаты нашего исследования на раковинах средиземноморских мидий продемонстрировали, что величины удельной активности находятся в диапазоне от $(0,47 \pm 0,34)$ до $(13,07 \pm 1,99)$ МБк·кг⁻¹ сырой массы, причём минимальные значения также характерны для кутовой части бухты. Среди исследованных представителей макрофитов наибольшие удельные активности $^{239+240}\text{Pu}$ определены в многолетних бурых водорослях *C. barbata* — от $(1,32 \pm 0,1)$ до $(3,13 \pm 0,39)$ МБк·кг⁻¹ сырой массы. В представителях однолетних зелёных водорослей *C. laetevirens* величины удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ были меньше и составляли от $(0,88 \pm 0,12)$ до $(1,05 \pm 0,19)$ МБк·кг⁻¹.

Количественные данные о распределении радиоизотопов $^{239+240}\text{Pu}$ в компонентах экосистемы Севастопольской бухты позволили оценить величины коэффициентов накопления плутония донными отложениями и представительными видами гидробионтов изучаемой морской акватории. Самые высокие значения коэффициентов накопления определены для донных отложений ($n \times 10^5$), далее располагаются мидии и бурые водоросли ($n \times 10^3$), наименьшие величины характерны для зелёных водорослей и рыб ($n \times 10^2$).

Таким образом, в результате проведённых исследований определены современные (2010–2020) уровни удельных активностей антропогенных радиоизотопов плутония в поверхностной воде, поверхностном, 0–5-см слое донных отложений, а также в некоторых видах рыб, в двустворчатых моллюсках и макрофитах. Эти данные позволили оценить запасы $^{239+240}\text{Pu}$ в донных отложениях Севастопольской бухты и коэффициенты накопления $^{239+240}\text{Pu}$ для изученных видов гидробионтов. Установлено, что наибольшие величины запасов $^{239+240}\text{Pu}$ характерны для устьевого района бухты (71,8 МБк). Суммарный расчётный запас $^{239+240}\text{Pu}$ в 0–5-см слое донных отложений бухты составил 121 МБк. Также показано, что донные отложения обладают наибольшими коэффициентами накопления радиоизотопов плутония ($n \times 10^5$), что ещё раз подтверждает их педотропный характер биогеохимического поведения в Чёрном море. Определено,

что представители многолетних бурых водорослей, а также средиземноморские мидии обладают более высокими коэффициентами накопления $^{239+240}\text{Pu}$ ($n \times 10^3$), чем однолетние зелёные водоросли, донные и пелагобентосные рыбы ($n \times 10^2$).

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-35-90041 («Аспиранты»); полевые работы по отбору проб донных отложений выполнены по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем» (№ гос. регистрации 121031500515-8).