



Изменение седиментационных потоков радиоизотопов плутония в верховье Севастопольской бухты

Параскив А.А., Терещенко Н.Н., Проскурнин В.Ю.,
Чужикова-Проскурнина О.Д., Вахрушев М.О.

ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»

Введение

В формировании самоочищения морских вод от поступающих техногенных веществ принимает участие множество природных процессов, одним из которых является их концентрирование на взвешенном веществе и перенос в донные отложения за счет гравитационной седиментации. Среди техногенных веществ, поступающих в морские экосистемы, особое место занимают радиоизотопы плутония ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$, обладающие высокой радиотоксичностью. Поэтому количественная оценка процессов самоочищения морских вод в отношении ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ является актуальной задачей. В акваторию Черного моря данные радиоизотопы поступали в основном в результате радиоактивных выпадений после испытаний ядерного оружия в открытых средах и аварии на Чернобыльской АЭС.

Цель работы – количественная оценка изменения седиментационных потоков ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ в верховье Севастопольской бухты в период 1962–2019 гг.

Материалы и методы исследования

Для проведения данного исследования в 2019 г. в верховье Севастопольской бухты (рис. 1) на глубине 9 м был отобран керн донных отложений высотой 31 см. Отбор керна осуществляли с борта маломерного судна с использованием акриловой трубки с вакуумным затвором. В лаборатории керн нарезали на слои по 2 см. Пробы донных отложений обрабатывали в соответствии с общепринятыми методиками. Измерения проводили на альфа-спектрометре фирмы ORTEC с полупроводниковыми кремниевыми детекторами.

Результаты и обсуждение

В результате было получено вертикальное распределение радиоизотопов плутония в донных осадках (рис. 2). На профиле удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ были определены два пика – в слоях 10–12 см и 28–30 см (рис. 2а). Максимум удельной активности ^{238}Pu был определен в слое 10–12 см, что отразилось на профиле $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$. Так, в слое 10–12 см данное отношение активностей было на порядок величин больше, чем в остальных слоях керна (рис. 2б). Это дало основание отнести данный слой осадка к 1986 г., когда происходили максимальные выпадения после аварии на ЧАЭС. При этом слой осадка на глубине 28–30 см был датирован 1962 г., когда наблюдали наибольшие выпадения вследствие испытаний ядерного оружия в открытых средах.

Результаты геохронологической датировки донных отложений позволили провести расчет таких биогеохимических параметров, как скорость осадконакопления (SR, мм·год⁻¹) и абсолютные массы донных осадков (MAR, г·м⁻²·год⁻¹). Установлено, что в период 1962–1986 гг. SR в изучаемом районе составляла 7,5 мм·год⁻¹, а в период 1986–2019 гг. – 3,6 мм·год⁻¹. Значения MAR в обозначенные периоды также снизились: с 3895 до 1679 г·м⁻²·год⁻¹.

Основываясь на результатах определения значений удельной активности ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$, а также величин MAR, были рассчитаны седиментационные потоки изучаемых радиоизотопов (П, Бк·м⁻²·год⁻¹) как количественный показатель самоочищения вод бухты (рис. 3). Показано, что в период 1962–1986 гг. максимальный поток $^{239+240}\text{Pu}$ составлял 2,1 Бк·м⁻²·год⁻¹ и был приурочен к периоду усиленных глобальных выпадений (рис. 3а). В дальнейшем седиментационный поток $^{239+240}\text{Pu}$ приобрел стационарный характер, вплоть до начала 1980-х гг., когда он начал снижаться. Вероятно, это произошло вследствие зарегулирования стока реки Черной после окончания наращивания дамбы на Чернореченском водохранилище. Это привело к уменьшению абсолютных масс донных осадков и к началу 1990-х гг. седиментационный поток $^{239+240}\text{Pu}$ уменьшился в 2,2 раза по сравнению с до-чернобыльским периодом, и вновь приобрел стационарный характер.

Потоки ^{238}Pu составляли 5–10 % от величин потоков $^{239+240}\text{Pu}$. Максимальный поток ^{238}Pu (рис. 3б) был приурочен к 1986 г. (0,2 Бк·м⁻²·год⁻¹) что является отражением особенности изотопной композиции чернобыльских радиоактивных выпадений, в которых доля ^{238}Pu была на порядок величин выше, чем в выпадениях после испытаний ядерного оружия в открытых средах.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что седиментационный поток $^{239+240}\text{Pu}$ в пост-чернобыльский период (1986–2019 гг.) снизился в 2,2 раза в сравнении с до-чернобыльским (1962–1986 гг.). Потоки ^{238}Pu составляли лишь 5–10 % от значений потоков $^{239+240}\text{Pu}$. При этом максимальные величины потоков $^{239+240}\text{Pu}$ были приурочены к 1962 г., а ^{238}Pu – к 1986 г.

Показано, что величины седиментационных потоков плутония могут изменяться на полувековом масштабе не только вследствие снижения или увеличения удельной активности ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$, но и как результат снижения величины MAR в данном районе акватории бухты.

Вероятно, наблюдаемые изменения являются следствием зарегулирования стока реки Черной (впадает в Севастопольскую бухту в ее верховье) после реконструкции Чернореченского водохранилища. Так, введенное в эксплуатацию в 1956 г., водохранилище увеличили в период 1977–1984 гг. посредством наращивания дамбы до высоты 36 м. Площадь поверхности зеркала водохранилища была увеличена с 2,5 до 6 км². По всей видимости, это привело к уменьшению количества взвешенного вещества, привносимого речным стоком в верховье бухты и, как следствие, к уменьшению величин SR и MAR.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания ФИЦ ИнБЮМ № 121031500515-8 «Молисмологические и биогеохимические основы гомеостаза морских экосистем», а также при поддержке РФФИ по научному гранту Аспиранты № 20-35-900041



Рис. 1. Карта-схема Севастопольской бухты с точкой отбора керна донных отложений

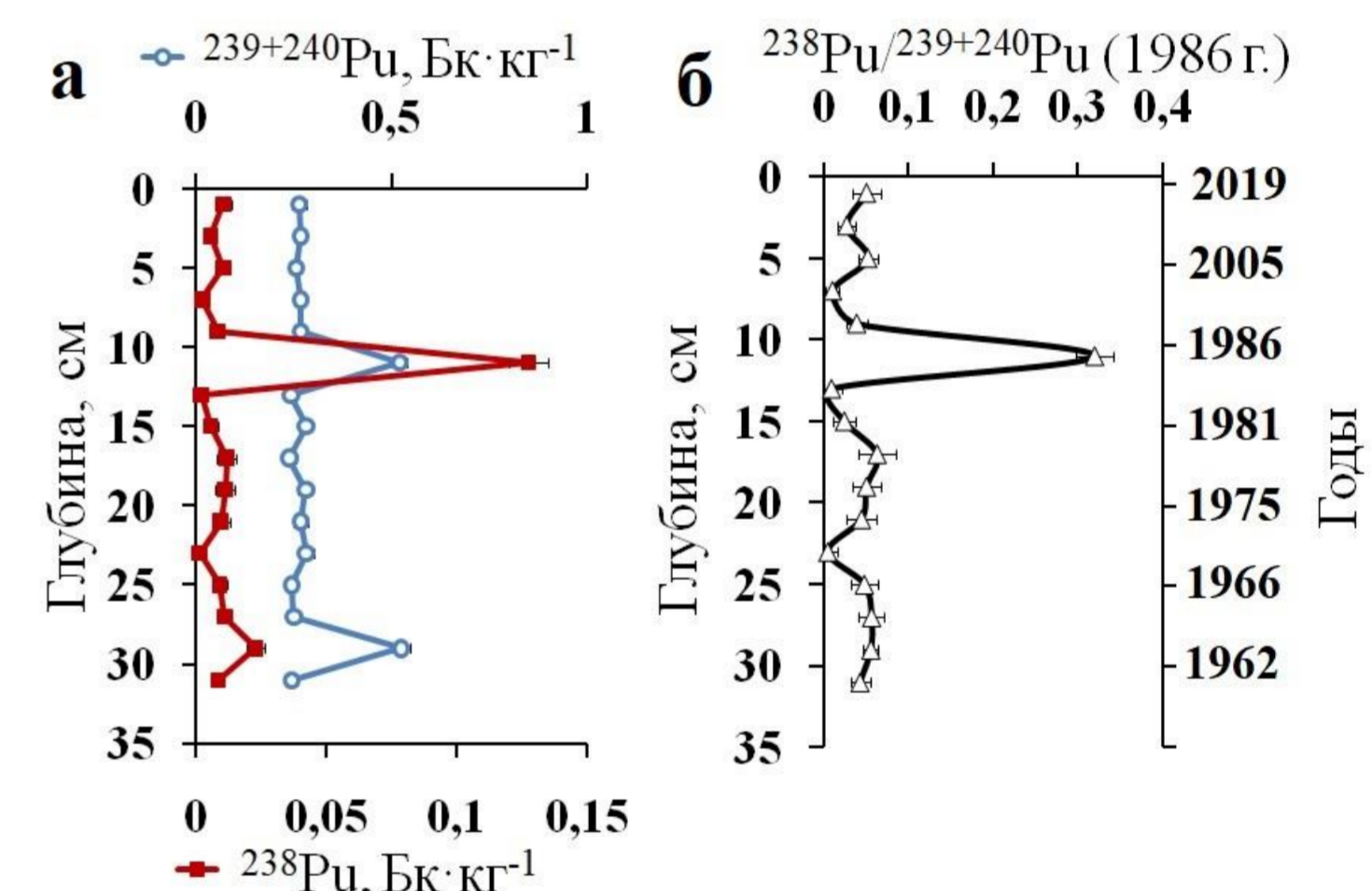


Рис. 2. Вертикальное распределение ^{238}Pu и $^{239+240}\text{Pu}$ (а) и $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ (б) в донных отложениях в верховье Севастопольской бухты

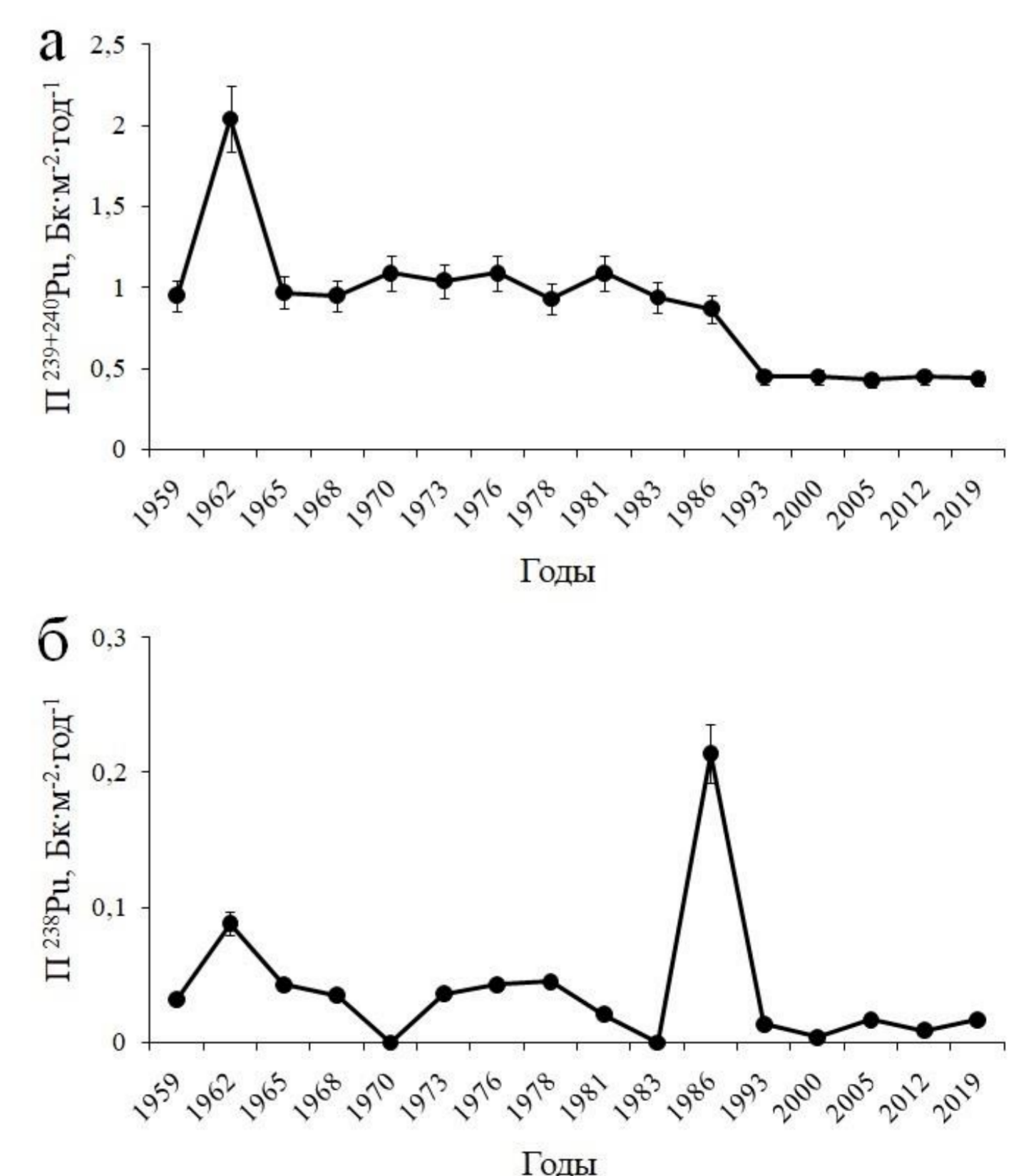


Рис. 3. Геохронологическая реконструкция седиментационных потоков $^{239+240}\text{Pu}$ (а) и ^{238}Pu (б) в верховье Севастопольской бухты