

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ И МОРСКАЯ РАДИОХЕМОЭКОЛОГИЯ

УДК [591.524.12.044:665.7](262.5)

DOI: [10.21072/eco.2025.10.3.07](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.3.07)

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИВА МАЗУТА В ДЕКАБРЕ 2024 ГОДА НА ЗООПЛАНКТОН КРЫМСКОГО ШЕЛЬФА *

Пионтковский С. А.^{1,2}, Загородняя Ю. А.², Самотой Ю. В.², Попова Е. В.²,
Баяндин А. С.², Калюжная С. Н.²

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Российская Федерация,

² ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: spiontkovski@mail.ru

Аннотация: Катастрофа в декабре 2024 г. в Керченском проливе двух судов, перевозивших 9000 тонн мазута, обернулась множественными убытками, среди которых воздействие разлива мазута на экосистему шельфа ожидало своих оценок. В связи с этим для исследования были выбраны организмы меропланктона, жизненный цикл которых связывает пелагическое и бентосное сообщества. Исследованы изменения численности и биомассы медузы *Aurelia aurita* (Linnaeus, 1758), доминирующей в суммарной биомассе зоопланктона, и изменения численности личинок двустворчатых моллюсков. Сбор 170 проб планктонными сетями в водном слое над шельфом в четырёх экспедициях (с августа 2024 г. по август 2025 г.), их обработка и анализ показали, что разлив мазута не отразился на сезонной динамике биомассы медуз и суммарной численности личинок двустворчатых моллюсков в шельфовых водах Крымского полуострова. Отмечена большая мезомасштабная вариабельность биомассы медуз с коэффициентами вариации от 49 до 122 %.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, зоопланктон, медузы, межгодовая изменчивость, Чёрное море

Введение

Крымский полуостров относят к важным рекреационным регионам Российской Федерации, где ежегодно отдыхают около 6 млн граждан, причём половина из них проводит летние отпуска на Южном берегу Крыма. В 2024 г. Крымский полуостров лидировал в России по приросту спроса на летнее бронирование отелей [Агафонова, Мекеня, Симоненко, 2025]. Наряду с рекреацией на полуострове интенсивно развиваются сельскохозяйственные комплексы, жилищное строительство, наземные и морские грузоперевозки. Как следствие — не только наземная прибрежная экосистема, но и экосистема шельфа испытывают значительную антропогенную нагрузку. Во временном аспекте она носит характер как многолетних монотонных трендов, так и импульсных экстремальных воздействий [Санитарно-биологические ... , 2025; Студеникина и др., 2008].

В экосистеме крымского шельфа монотонные положительные тренды антропогенного происхождения представлены возрастающими объёмами бытовых стоков, включающими стоки канализаций с их аммонийным азотом и поверхностно-активными веществами (ПАВ). Так, с 2014 по 2018 г. сброс сточных вод по Республике Крым увеличился в 3 раза, с 52 до 160 млн т [Демченко, Полякова, 2020]. Возрастающий объём стоков ухудшает санитарное состояние прибрежных вод, так как большая часть бытовых стоков поступает в море без очистки [Чепыженко, Чепыженко, 2018]. Содержащиеся в моющих средствах ПАВ покрывают тонким слоем субстрат, вызывая омыление дна. В результате организмы, ведущие прикрепленный к субстрату образ жизни, не могут

* Работа выполнена в рамках государственных заданий СевГУ № FEFM-2024-0013 и ИнБИОМ № FNNZ-2024-0027/124022400148-4 и 124022400057-4.

к нему прикрепиться. Кроме того, ПАВ оказывают прямое отрицательное воздействие на физиологические процессы в морских организмах [Остроумов, 2005].

Примерами импульсных экстремальных воздействий на прибрежную экосистему Крыма являются разливы нефтепродуктов вследствие аварий перевозящих их судов. Серия мощных разливов произошла в ноябре 2007 г. в Керченском проливе с утечкой около 1300 тонн мазута [Oil spill ... , 2011]. В декабре 2024 г. в том же Керченском проливе к ней добавилась катастрофа двух судов, перевозивших 9000 тонн мазута. Приблизительно половина этого объёма попала в море и распространилась вдоль шельфа в восточном и западном направлениях, что привело к чрезвычайной ситуации федерального масштаба с общим убытком, оценённым правительством РФ в 85 млрд рублей [Крушение танкеров ... , 2025]. Сотни километров пляжей Крымского полуострова и кавказского побережья подверглись очистке от выбросов мазута, а некоторые пляжи были закрыты на летний сезон 2025 г. Экологические последствия этой катастрофы для прибрежных экосистем ещё предстоит оценить, хотя некоторые оценки были сделаны в первые же месяцы: экспресс-индикаторами послужили погибшие птицы и дельфины [Епимахов, 2025].

Наряду с влиянием на представителей высоких трофических уровней экосистемы шельфа, разлив мазута мог отрицательно сказаться и на массовых организмах зоопланктона, обеспечивающих трофические уровни более высокого порядка. Задача наших исследований и состояла в такой оценке, для чего были выбраны организмы меропланктона, жизненный цикл которых связывает пелагическое и бентосное сообщества. Так, характерной чертой структуры экосистем шельфа и открытых вод Чёрного моря является огромная биомасса сцифоидных медуз [Kovalev, Piontkovski, 1998; Mutlu, 2001; Weisse, Gomoiu, 2000]. Исследования шельфа южной, восточной, северной и западной частей Чёрного моря показали, что биомасса желетелого зоопланктона, в котором медузы доминируют в настоящее время, превышает биомассу кормового зоопланктона, составляющего основу рациона мелких пелагических рыб, приблизительно в 100 раз [Zagorodnyaya, Piontkovski, Gubanov, 2023].

В сравнительном аспекте Чёрное море относят к трём «самым желетелым» среди 45 больших морских экосистем Мирового океана, ранжированных по индексу желетелости [Brotz et al., 2012]. На шельфе Крыма по биомассе доминирует медуза *Aurelia aurita* (Linnaeus, 1758). Её жизненный цикл включает как планктонную, так и бентосную стадии развития. При этом осевшая на дно личинка превращается в полип (высотой около 5 мм), который со временем отпочковывает эфиров (молодые медузы), развивающиеся во взрослых особей. Таким образом, жизнеспособные полипы опосредованно определяют биомассу последующего поколения взрослых медуз. Жизненный цикл *A. aurita*, имеющей пандемический ареал, хорошо изучен [Dawson, Martin, 2001; Lucas, 2001; Pitt et al., 2018]. Период развития от полипа до взрослых особей в умеренных широтах составляет около 6 месяцев, это зависит от температуры и доступности пищи [Goldstein, Steiner, 2020; Ishii, Kojima, Tanaka, 2004; Loveridge, Lucas, Ford, 2024; Miyake, Iwao, Kakinuma, 1997]. В субтропических широтах этот период может быть вдвое меньше [El-Serehy, 2005].

Наша гипотеза заключалась в том, что разлив мазута и его распространение по шельфу не дали полипам весеннего поколения 2025 г. продолжить свой цикл развития, что должно сказаться на численности и биомассе зрелых медуз весеннего и летнего поколений 2025 г. Помимо медуз, внимание было обращено на численность личинок двустворчатых моллюсков в планктоне как индикатора репродуктивного состояния их бентосных популяций в связи с разливом мазута. Продуцентами личинок являются многие виды с доминированием митилястера (*Mytilaster lineatus* Gmel., 1790) и мидий (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) в прибрежных водах Крыма [Санитарно-биологические ... , 2025; Лисицкая, 2017]. Для проверки гипотез привлечены данные планктонных ловов, выполненных в пяти экспедициях научно-исследовательского судна вдоль крымского шельфа.

Материал и методы

Гидрофизические зондирования и планктонные обловы интегрального слоя над шельфом в 102, 132, 134–136-м рейсах НИС «Профессор Водяницкий» были выполнены в 2018–2025 гг. В качестве примера на рисунке 1 показана стандартная схема океанографических станций, а в таблице 1 приведена краткая характеристика экспедиций. Материалы 102-го рейса (с наибольшим количеством гидрофизических зондирований) использованы для иллюстрации типичной структуры и динамики вод в летний период. Исследования планктона базируются на анализе экспедиционных материалов четырёх рейсов 2024–2025 гг.: данные 132-го рейса характеризуют ситуацию до разлива и 134-го — сразу после разлива нефти, а материалы более поздних рейсов позволяют достовернее оценить последующее влияние загрязнения на пелагическое и донное сообщества в регионе.

Таблица 1

Краткая характеристика экспедиций НИС «Профессор Водяницкий» в 2024–2025 гг.

Номер рейса НИС «Профессор Водяницкий»	Сроки выполнения экспедиционных работ	Количество океанографических станций	Количество сетных ловов зоопланктона
102	09.06.18–01.07.18	134	44
132	24.07.24–12.08.24	44	23
134	13.03.25–08.04.25	48	27
135	25.05.25–16.06.25	119	52
136	24.07.25–18.08.25	90	24

Пробы зоопланктона, собранные планктонной сетью Джеди с диаметром входного кольца 36 см и размером ячеей 140 мкм и сгущенные до 100 мл, фиксировали нейтральным раствором формалина 4%-й концентрации. Выполнялись вертикальные тотальные обловы водного слоя над шельфом. Зоопланктон обрабатывали стандартным счётно-порционным методом в камере Богорова с определением таксономического состава, размеров организмов и их количества в пробе. Для перехода от размера к биомассе использовали известные для черноморских видов размерно-весовые соотношения [Ковалев и др., 1993] и вычисляли биомассу в единице объёма обловленного слоя или под квадратным метром.

В пробах, собранных ихтиопланктонной сетью Хенсена с диаметром входного кольца 70 см и размером ячеей 400 мкм, определяли количество медуз и их размер. Сырая масса аурелии (W) и диаметр купола связаны соотношением $W(\text{mg}) = 0,053D^{2,98}$, где D — диаметр в мм [Юровский и др., 2023]. Расчёты численности и биомассы сделаны для сетных тотальных ловов, выполненных на шельфе, над глубинами менее 200 м.

При оценке варьирования пространственного распределения биомассы медуз станции с обловами планктона были распределены по 10–13 секторам (рис. 1) в зависимости от масштабности полевых съёмок, так как в некоторых случаях (135 и 136-й рейсы) они охватывали восточную часть черноморского шельфа (до г. Адлера). В большинстве случаев средняя секторальная биомасса вычислялась по данным 3–5 станций.

Суммарную численность личинок двусторчатых моллюсков подсчитывали по пробам, собранным сетью Джеди.

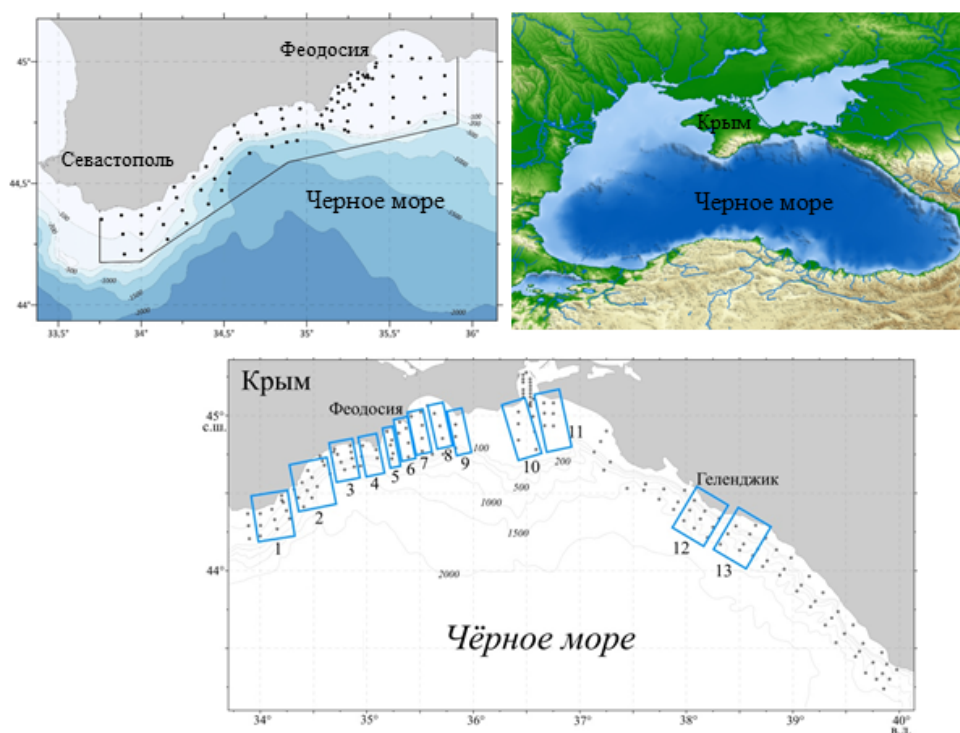


Рис. 1. Схема океанографических станций вдоль крымского шельфа (134-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»), крупный план черноморского шельфа (<https://ru.wikipedia.org>) и схема секторов 135-го рейса. Батиметрия на рисунках показана изолиниями глубин (м)

Фоновыми измерениями, характеризующими термохалинную структуру верхних слоёв, служили вертикальные зондирования погружным комплексом IDRONAUT OCEAN SEVEN 320. Вертикальные профили концентрации растворённого кислорода получены с помощью датчика оптического канала в диапазоне 0–50 мг/л с точностью 0,01 мг/л.

В статистической обработке данных использованы программные пакеты PAST v.3 и Statistica v.9, позволившие построить графики и оценить достоверность вдоль-шельфовых и кросс-шельфовых трендов. Для оценки наличия или отсутствия монотонных трендов использован непараметрический критерий Манна — Кендалла, применяемый в гидрофизике и гидрометеорологии [Wang et al., 2020]. Параметр Z этого критерия следует нормальному распределению с $E(Z) = 0$, $V(Z) = 1$. Нулевая гипотеза H_0 (о статистической незначимости тренда) отвергается при абсолютном значении $Z > Z_{1-a/2}$, где a — принятый уровень значимости (в нашем случае $a = 0,05$). При p -значении теста ниже принятого уровня значимости монотонный тренд во временной серии присутствует.

Результаты

Годовой жизненный цикл популяции *A. aurita* проходит на фоне значительной сезонной перестройки термохалинной структуры и динамики вод. При этом диапазон сезонных изменений температуры в поверхностном слое составляет 16 °С, а диапазон пространственных изменений в масштабах одной сетки станций на шельфе Крыма равен 4 °С [Артамонов и др., 2020]. Толщина верхнего квазиоднородного слоя изменяется пятикратно, от 10 м в августе до 50 м в марте, с соответствующим ослаблением термической стратификации водной толщи.

Чтобы представить обобщённо термохалинную и динамическую структуру на крымском шельфе в летний сезон, на рисунке 2 приведены результаты обширной съёмки шельфа с распределением температуры, солёности, положения вихрей и меандров основного черноморского течения (ОЧТ) по данным инструментальных измерений в экспедициях НИС «Профессор Водяницкий». Характерно, что антициклонические вихри располагаются справа от стрежня основного черноморского потока, а циклонические — слева. Орбитальные скорости в антициклонах достигают 30 см/с, а скорость ОЧТ в летний сезон составляет 40 см/с в верхнем 25-метровом слое [Артамонов и др., 2020]. Прибрежное течение и ОЧТ совпадают по направлению. Представленные на рисунке 2 элементы структуры и динамики формируют большую вариабельность и мозаичность пространственного распределения биомассы медуз: коэффициенты её вариации в полевых съёмках составляли 49–122 %.

Исследование сезонной динамики вертикального распределения градиента плотности, в котором главную роль играет температура воды, важно для понимания особенностей развития личиночных стадий медуз, так как этот градиент влияет на эффективность их оседания и последующего прикрепления к субстрату. Амплитуда сезонных изменений плотности воды быстро уменьшается с глубиной: на 75 метрах она в 30 раз меньше, чем на поверхности [Белокопытов, 2017].

Концентрация растворённого кислорода в водах была относительно высокой (рис. 2) и не являлась лимитирующим фактором для развития популяций меропланктона. Интенсивный вертикальный турбулентный обмен, разрушение сезонного пикноклина в зимние месяцы и его отсутствие в начале весны способствовали оседанию личинок медуз.

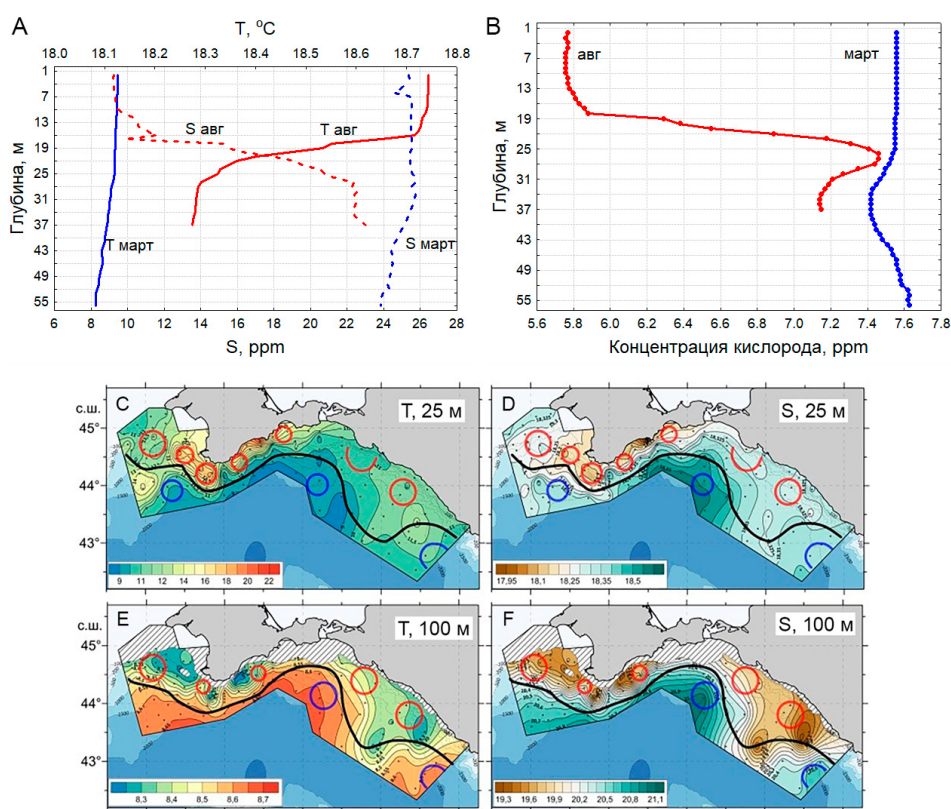


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры (T), солёности (S) и концентрации растворённого кислорода в августе 2024 г. и марте 2025 г. (A, B). Пространственное распределение температуры (T) и солёности (S) на горизонтах 25 и 100 м в июне 2018 г. (C, D, E, F) [Артамонов и др., 2020], кружками показаны антициклонические (красные) и циклонические (синие) вихри. Чёрной кривой отмечена граница основного черноморского течения (ОЧТ)

Диаграммы частотного распределения размеров медуз, построенные по материалам четырёх последовательных рейсов, показали особенности изменения размерной структуры взрослых медуз с августа 2024 г. по август 2025 г. Так, в августе 2024 г. доминировали особи минимальных размеров (рис. 3). В марте 2025 г. средний диаметр купола ((86 ± 57) мм) почти вдвое превышал таковой в августе ((49 ± 25) мм), а по медиане они различались в 1,6 раза. В июне 2025 г. в частотном распределении заметно выделялась средняя группа (диаметр 50 мм). В августе 2025 г. частотное распределение статистически не отличалось от такового в августе 2024 г., на что указывает обобщённая диаграмма частот по всем рейсам. Она характеризует сезонную изменчивость размерной структуры, в которой вариабельность оказалась значительной: коэффициенты вариации среднего размера купола, по данным четырёх рейсов, составляли 50, 67, 63 и 45 % соответственно.

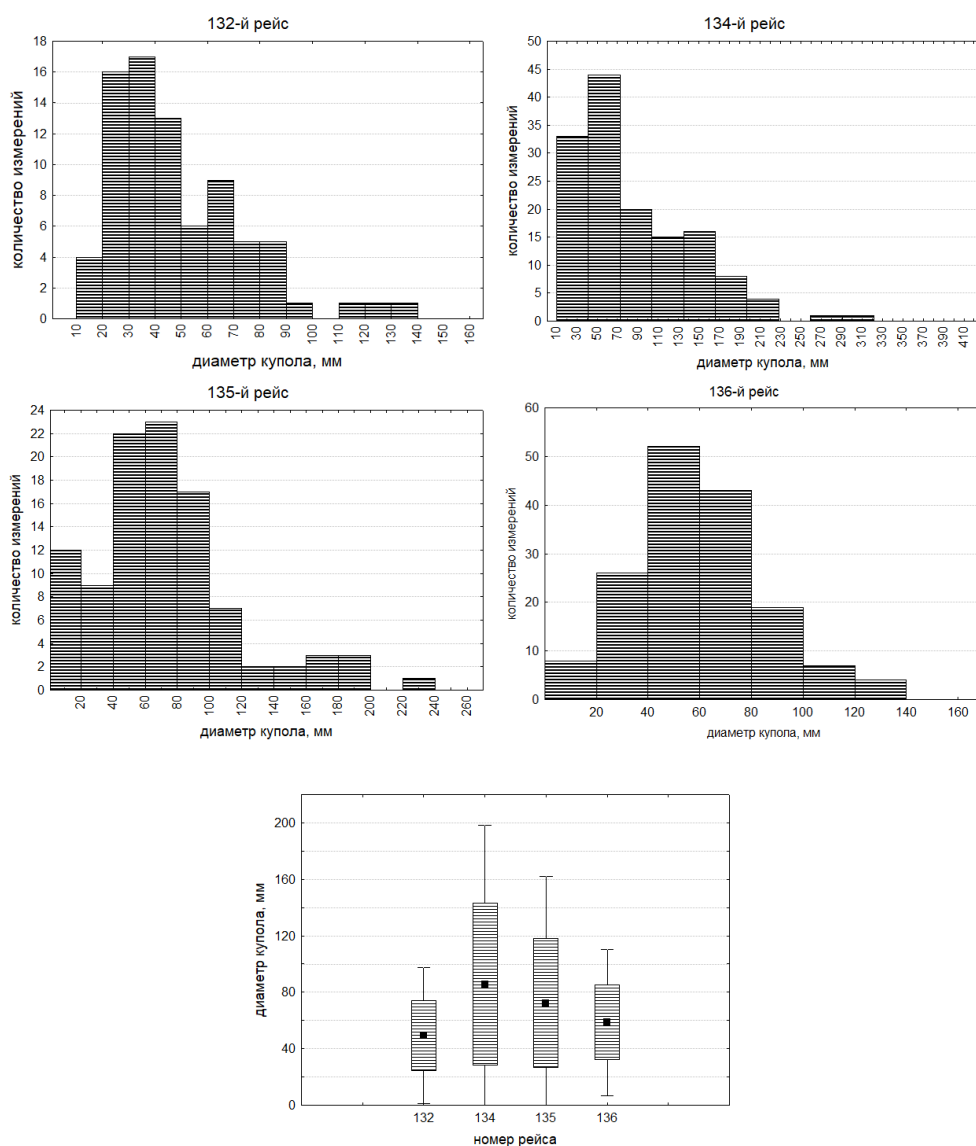


Рис. 3. Диаграмма частоты встречаемости медуз разных размеров (по оси абсцисс приведён диаметр купола в мм) и обобщённая (по данным 4 рейсов) диаграмма размерной структуры, в которой представлены: величина средней (чёрный квадрат), стандартного отклонения (прямоугольники) и 95 % доверительного интервала (вертикальные отрезки). 132-й рейс (июль — август 2024 г.), $n = 79$; 134-й рейс (март — февраль 2025 г.), $n = 142$; 135-й рейс (май — июнь 2025 г.), $n = 101$; 136-й рейс (июль — август 2025 г.), $n = 164$; n — количество измерений диаметра купола

В августе 2024 г. эфирь в пробах не учитывали. Анализ планктонных проб в двух последующих рейсах, в марте и июне 2025 г., показал низкую численность эфирь. В марте единичные экземпляры были отмечены на двух станциях из 27, в июне — на 14 станциях из 87. При этом на схеме станций (рис. 1) видно, что пробы были собраны над относительно большой площадью шельфа.

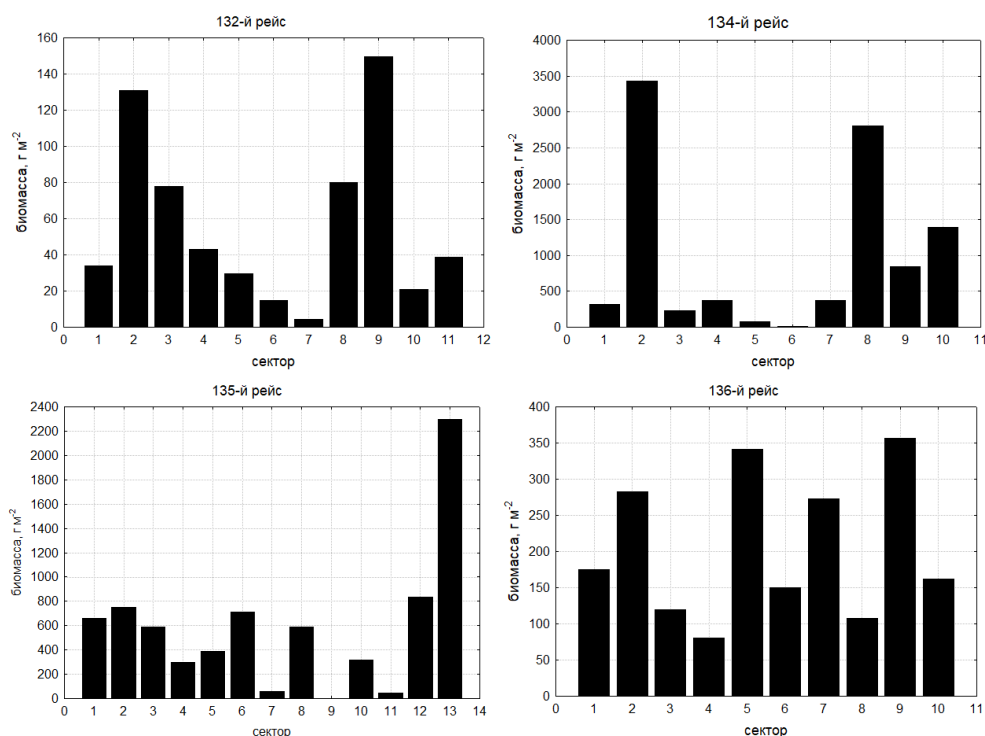


Рис. 4. Распределение биомассы медуз по секторам. 132-й рейс (июль — август 2024 г.), 33 станции; 134-й рейс (март — февраль 2025г.), 27 станций; 135-й рейс (май — июнь 2025г.), 52 станции; 136-й рейс (июль — август 2025 г.), 24 станции

Пространственный вдоль-шельфовый тренд биомассы отсутствовал в августе 2024 г., марте, июне и августе 2025 г. (тест Манна — Кендалла, $p = 0,1; 0,3; 0,9; 0,4$ соответственно). Распределение биомассы по акватории (по секторам) было мозаичным (рис. 4). Наряду с отсутствием монотонного вдоль-шельфового тренда, в пространственном распределении биомассы можно отметить сравнительно низкие величины, приходящиеся на районы узкого шельфа Южного берега Крыма (рис. 1).

Из рисунка 4 очевидно, что, по сравнению с мартом 2025 г. (после разлива мазута, 134-й рейс), средняя биомасса медуз на крымском шельфе в июне 2025 г. (135-й рейс) была меньше (около 600 г/м²), а в августе 2025 г. она уменьшилась до 205 г/м² при коэффициенте её вариации 49 % (рис. 5). Отмеченное летнее уменьшение может совокупно отражать как влияние мазута, так и влияние сезонности, представленной на рисунке 5.

Следует отметить два обстоятельства, затрудняющие сравнение графиков на рисунке 4: во-первых, последовательность выполнения станций в 132 и 134-м рейсах (возрастающая нумерация секторов осуществлялась в восточном направлении) отличалась от двух последующих рейсов — 135 и 136-го (возрастающая нумерация секторов осуществлялась в западном направлении), так как в первых двух рейсах съёмки начинались от южного побережья Крыма (от Фороса), а в последующих двух — от восточного побережья Кавказа (от Адлера). Во-вторых, количество станций (соответственно, секторов) в 135 и 136-м рейсах (июнь —

август 2025 г.) увеличилось в связи с принятым решением о расширении акватории работ и включении кавказского побережья (до Адлера). В-третьих, распределение станций с обловами медуз по акватории шельфа не было равномерным, так как состояние моря не всегда позволяло работать планктонными сетями. Тем не менее эти обстоятельства несущественны при формулировании вывода о том, что статистически значимый пространственный монотонный тренд биомассы на крымском шельфе отсутствовал.

Сезонные изменения средней по секторам биомассы медуз на крымском шельфе составили 57, 987, 623 и 205 г/м² по результатам четырёх последовательно проведённых полевых съёмок в августе 2024 г., марте, июне и августе 2025 г. (132, 134, 135 и 136-й рейсы). Коэффициенты вариации находились в диапазоне 49–122 %, что превышает коэффициент вариации биомассы в связи с сезонной изменчивостью, которую демонстрирует многолетняя временная серия 1988–2014 гг.: он составляет 48 % (рис. 5). В упомянутых четырёх экспедициях максимум варьирования приходился на весеннюю полевую съёмку (134-й рейс), а минимум — на летние съёмки 2024 и 2025 гг. (особенно на завершающий 136-й августовский рейс).

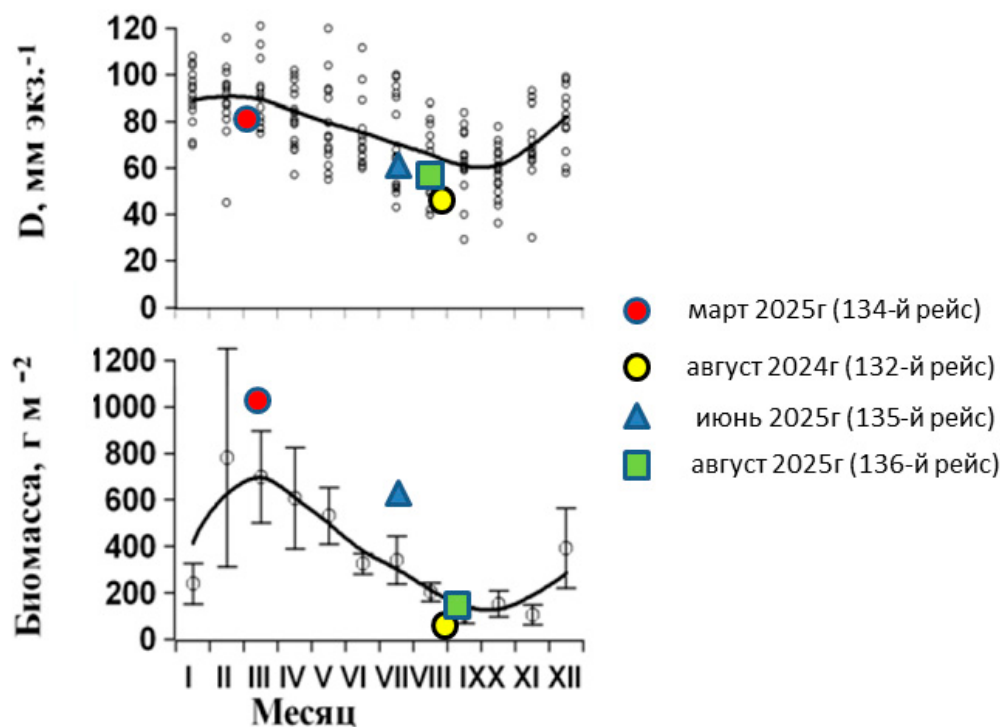


Рис. 5. Биомасса и размеры медуз (диаметр купола, мм) в 2024–2025 гг. на фоне многолетнего сезонного тренда этих показателей в 1998–2014 гг. [Аннинский, Финенко, Дацык, 2020]

Копеподы и личинки двустворчатых моллюсков составляют значительную часть рациона медуз [Mutlu, 2001]. В марте 2025 г. концентрация личинок двустворок в слое над крымским шельфом была сравнительно высокой (73 экз./м³ при коэффициенте вариации 52 %), что указывает на потенциальную обеспеченность медуз кормом. Данное определение концентрации двустворок как сравнительно высокое вытекает из сопоставления с предыдущими годами. Так, в марте — апреле 2017, 2019, 2022 и 2023 гг. средние показатели концентрации личинок составляли 66, 21, 22, 8 экз./м³ соответственно. В июле 2025 г. их средняя по секторам концентрация была заметно выше и составляла 1319 экз./м³ при коэффициенте вариации 103 %.

Обсуждение результатов

Мазут (в данном случае марки «М-100») представляет собой остаточную, наиболее тяжёлую фракцию перегонки нефти. Он имеет высокую плотность (1015 кг/м^3 при 20°C) и чрезвычайно токсичен [Кузьминова, Влодович, Солецкий, 2023]. При разливе в море мазут оседает на дно, теряет плотность и частично всплывает при температуре выше 26°C .

Генеральное направление прибрежного течения на шельфе Крыма — западное, в этом направлении происходил частичный перенос мазутной массы из эпицентра разлива. Однако прибрежное течение реверсивно по направлению [Kuznetsov, Ivashchenko, 2025]. В сочетании с региональным направлением ветров зимой 2025 г. это способствовало распространению мазута как на запад, вплоть до Евпатории, так и на восток, вдоль кавказского побережья [Zodiatis et al., 2025]. Загрязнение пляжной зоны кавказского и крымского побережий после разлива мазута многократно обсуждалось в средствах массовой информации. Так, по данным пресс-службы МЧС РФ, в марте 2025 г. вдоль крымского побережья было очищено 223 км береговой зоны и собрано 763 тонны загрязнённого песка и грунта. По данным Роспотребнадзора, 150 пляжей г. Анапы и Темрюкского района были закрыты для купания на летний сезон 2025 г.

Сложность оценки влияния мазута состоит в выявлении произошедших изменений на фоне значительной сезонной изменчивости популяции медуз. На крымском шельфе (в районе г. Севастополя) максимум биомассы *A. aurita* приходится на март — апрель, а минимум — на летние месяцы [Аннинский, Финенко, Дацк, 2020]. При этом наблюдаются трёхкратные различия средних величин биомассы. В сезонной динамике популяции *A. aurita* температуру считают главным фактором, регулирующим жизненный цикл медуз и её стадий [Gao et al., 2015; Purcell, 2007]. В умеренных широтах массовое появление эфир характерно для весны [Lucas, 1996; Schnedler-Meyer, Kiørboe, Mariani, 2018]. Об этом свидетельствует также 15-летний массив данных по крымскому шельфу (рис. 5) [Аннинский, Финенко, Дацк, 2020].

Что же касается динамических факторов среды, то кросс-шельфовый и вдоль-шельфовый турбулентный обмен, мезомасштабная изменчивость (вихри, фронты), субмезомасштабные вихри и реверсивный характер прибрежного течения являются совокупной причиной отсутствия линейного пространственного тренда в распределении биомассы медуз на шельфе, с востока на запад, в направлении наиболее продуктивного северо-западного шельфа Чёрного моря. Эти же факторы формируют пространственную неоднородность распределения биомассы по акватории шельфа, с повышенными величинами на периферии антициклонических вихрей и во фронтальной зоне основного черноморского течения [Чудиновских, Мельников, Силаков, 2023; Mutlu, 2001]. Известны также способности медуз активно перемещаться, с ориентацией на направленность течения, и формировать плотные скопления за счёт этих перемещений [Churnside et al., 2016; Fossette et al., 2015; Rakow, Graham, 2006]. В целом перечисленные факторы способствуют мозаичности мезомасштабного пространственного распределения биомассы медуз с коэффициентами вариации 70–120 %.

Высокая пространственная неоднородность мезомасштабного распределения биомассы *A. aurita* отмечалась и ранее. Например, в пределах акватории полевой съёмки крымского шельфа в апреле 2016 г. она варьировала от полного отсутствия медуз в Керченском проливе до 612 г/м^2 в Феодосийском районе и 1331 г/м^2 в районе Южного берега Крыма [Финенко, Аннинский, Дацк, 2021]. Во временном аспекте пространственная неоднородность стабилизирует биомассу в пелагиали крымского шельфа за счёт хорошо выраженного адвективного переноса. В летний сезон среднемесячная скорость прибрежного течения максимальна в приповерхностном слое и уменьшается с глубиной, составляя в придонном слое 0,3 от максимальной величины [Иванов, Кузнецов, Морозов, 2019]. Так, в районе Южного берега Крыма модулируемый ветром вдольбереговой поток западного-юго-западного направления имеет среднемноголетний модуль скорости 8 см/с [Кузнецов, Зима, Щербаченко, 2020] с максимальными величинами до 35 см/с [Экологическая катастрофа ... , 2025].

Из данных Роспотребнадзора и МЧС по загрязнению побережья мазутом известно, что наиболее пострадавшими оказались районы западного побережья Кавказа (Темрюкский район и г. Анапа), однако распределение биомассы медуз по секторам не отражает этой особенности (рис. 4). Как отмечалось выше, по характеру пространственного распределения оно мозаично.

В контексте пространственной динамики биомассы планктона акватория крымского шельфа — это проточная система с генеральным её переносом в западном направлении. По аналогии с массопереносом вод массоперенос в пелагическом сообществе можно оценить в первом приближении как наличную биомассу (в единице объёма), умноженную на среднюю скорость геострофического течения. На крымском шельфе перенос суммарной массы планктона максимален летом в слое над термоклином и, по нашим расчётам, составляет $\sim 60 \text{ г С/м}^2/\text{сутки}$. При этом остаётся неучтённым вклад процессов выедания и отмирания биомассы. Тем не менее рассчитанная величина массопереноса биомассы значительно превышает первичную продукцию на крымском шельфе, приводимую в литературных источниках первых десятилетий XXI века [Ковалева, Суслин, 2025; Пионтковский и др., 2024].

Сравнительно узкий шельф восточной и центральной частей Крымского полуострова выступает фактором ослабления антропогенных загрязнений разной природы, в частности мазута, что способствует перемешиванию шельфовых и глубинных вод. Воздействие этого фактора усиливают зимние ветра, управляющие кросс-шельфовой и вдоль-шельфовой составляющими мезомасштабного турбулентного обмена. Можно предположить, что малая численность эфир, отмеченная нами в мартовских пробах, со временем компенсируется их адвективным поступлением из других районов. В этом случае адвекция выступает механизмом пополнения биомассы пелагического сообщества и объясняет наблюдаемое отсутствие влияния мазута на биомассу медуз и личинок двустворчатых моллюсков.

Присутствие личинок двустворчатых моллюсков (то есть бентосных организмов) в достаточно большом количестве в планктоне косвенно свидетельствует о том, что на бентосную часть их популяций, как и на полипы медуз, на исследованных участках шельфа разлив мазута не повлиял. Как было отмечено ранее, численность личинок в июле 2025 г. составляла 1319 экз./м³ при коэффициенте вариации 103 %. Выполнявшиеся (параллельно с экспедициями НИС «Профессор Водяницкий») ежемесячные сборы планктонных проб на траверзе Балаклавской бухты показали, что в июле — августе 2024 г. суммарная численность организмов меропланктона составляла 1174–1878 экз./м³, в августовских пробах доминировали личинки двустворчатых моллюсков [Губанова, 2025]. Такая численность меропланктона в августе характеризовала его сезонный максимум. В целом в течение года численность меропланктона варьировала от единиц или нескольких десятков организмов в зимние месяцы до почти двух тысяч — в летние.

Параллельно с нашими исследованиями сбор и анализ проб донных отложений в Керченском проливе и у Таманского побережья был выполнен сотрудниками Института океанологии РАН, которые анализировали химический состав углеводородного загрязнения и состав бентоса. Эти исследования показали, что по истечении 2,5 месяцев после аварии значительных изменений во временной динамике биомассы водных организмов не произошло. В целом она изменялась на уровне средних величин для прибрежных акваторий при некотором снижении видового разнообразия, что свидетельствует о ранней стадии восстановления экосистемы [Экологическая катастрофа ... , 2025].

Разлив мазута в декабре 2024 г. — это не первый инцидент на крымском шельфе. Предыдущий мощный разлив ($\sim 1300 \text{ т}$) произошёл в ноябре 2007 г., тоже в Керченском проливе. Анализ его последствий для пелагического сообщества привёл к качественно сходным выводам: поступление большого объёма мазута в прибрежные воды не привело к заметным изменениям структурных характеристик планктонного и бентосного сообществ [Санитарно-биологические ... , 2025; Загородняя, 2009; Студеникина и др., 2008].

Во введении данной статьи сказано, что разлив мазута следует рассматривать как кратковременную, импульсную антропогенную нагрузку на экосистему шельфа на фоне многолетней нагрузки. Таковой является фоновое загрязнение Чёрного моря нефтяными углеводородами и другими формами загрязнения. Основными источниками поступления нефтяных углеводородов в пелагиаль Мирового океана являются выходы сырой нефти у морского дна (50 % всех утечек), утечки при бурении и обслуживании нефтяных скважин, аварийные разливы при судоходстве и континентальные стоки с нефтесодержащими отходами [Патин, 2017]. Сравнительный анализ межгодовой изменчивости биомассы зоопланктона с 1970-х гг. до первых десятилетий XXI века показал наличие монотонных отрицательных трендов в регионах с высокой фоновой концентрацией нефтяных углеводородов (Персидский залив, Мексиканский залив, Каспийское море) и отсутствие трендов в регионах со сравнительно низкими фоновыми концентрациями углеводородов, к которым нами отнесены Чёрное и Средиземное моря, в сравнении с указанными регионами [Пионтковский, Минский, Мегер, 2023].

Таким образом, с точки зрения многолетней изменчивости ряда ключевых структурных характеристик пелагических и бентосных сообществ крымского шельфа в первые десятилетия XXI века, можно отметить их стабильное состояние — отсутствие монотонных отрицательных или положительных трендов при наличии межгодовых колебаний [Санитарно-биологические ... , 2025; Пионтковский, Минский, Мегер, 2023; Пионтковский и др., 2024]. В пелагиали этому способствует межгодовая стабильность плотности кинетической энергии в верхнем 30-метровом слое [Дорофеев, Сухих, 2023] и кросс-шельфового массопереноса вод в верхнем 200-метровом слое — в масштабах Чёрного моря [Akpınar et al., 2022], а также сравнительно стабильный уровень первичной продукции (с отсутствием межгодового тренда).

Данные рисунка 5 указывают на повышенные средние величины биомассы медуз, полученные нами в 2025 г., по сравнению со среднемноголетними. Численность личинок двустворчатых моллюсков в летних экспедициях 2025 г. также была заметно выше таковой в предыдущие годы (в марте — апреле 2017, 2019, 2022 и 2023 гг.). Однако высокие величины коэффициентов вариации биомассы медуз не позволяют отнести эти превышения к статистически значимым, так как доверительные интервалы 2025 г. и среднемноголетних значений перекрываются. При этом в открытых водах за пределами шельфа отмечено увеличение биомассы *A. aurita* в 2005–2017 гг. [Akpınar et al., 2022], в то время как на шельфе (у Севастополя) изменения биомассы в 2002–2021 гг. носили характер межгодовых колебаний, что очевидно из приведённого авторами рисунка [Anninsky, 2009]. Наши расчёты по временной серии биомассы, представленной авторами на их рисунке, показали, что она не содержит статистически значимого межгодового тренда ($S = 4$; $Z = 0,01$; $p = 0,92$).

Для Средиземноморского бассейна (в частности, Адриатического моря) известны 200-летние временные серии наблюдений за биомассой сцифоидных медуз [Kogovšek, Bogunović, Malej, 2010]. В этих сериях отмечен 10-летний период изменчивости, как один из основных, с 1960-х гг.

В отношении черноморского шельфа можно предположить наличие приблизительно той же периодичности, поскольку весь Средиземноморский бассейн находится под влиянием одних и тех же крупномасштабных атмосферных аномалий. К ним относят Северо-Атлантическое колебание (North Atlantic Oscillation — NAO), которое формируется градиентом атмосферного давления над Северной Атлантикой и характеризуется соответствующим индексом [Аннинский, Финенко, Дацук, 2020; Oguz, Dippner, Kaymaz, 2006; Piontkovski et al., 2006], и восточно-атлантический/западно-российский индекс (East Atlantic/West Russia index — EAWR), который характеризует градиент атмосферного давления над восточной частью Северо-Американского континента и Восточной Европой. Оба индекса указывают на преобладание отрицательной

фазы в двухтысячных годах XXI века. С точки зрения влияния на пелагические экосистемы градиенты атмосферного давления опосредованно, через поле ветра, воздействуют на интенсивность и направленность геострофических течений и массоперенос планктона.

Выводы

Наша исходная гипотеза не получила подтверждения: анализ планктонных проб, собранных в четырёх экспедициях, показал, что разлив мазута в декабре 2024 г. не отразился на сезонной динамике биомассы медуз (взрослых особей) и суммарной численности личинок двустворчатых моллюсков в пределах исследованных акваторий шельфа. Оба параметра служили индикаторами процессов, происходящих на дне и в водной толще над шельфом. Факторами, стабилизирующими внутрисезонную динамику биомассы планктонного сообщества в водах над крымским шельфом, выступают: адвективный массоперенос прибрежным течением, меандрирование ОЧТ, мезомасштабные и субмезомасштабные вихри. В совокупности с ошибками сетных ловов они обуславливают высокие коэффициенты вариации биомассы на шельфе от 49 до 122 %, превышающие сезонную вариабельность биомассы.

Благодарности. Экспедиционные исследования обеспечивались Центром коллективного пользования НИС «Профессор Водяницкий» ФГБУН ФИЦ ИнБЮМ им. А. О. Ковалевского РАН. Авторы признательны главному инженеру судна В. В. Давыдову за неустанную техническую помощь в обеспечении работ и коллегам из МГИ (Ю. В. Артамонову, Е. А. Скрипалевой и др.) за предоставленные иллюстративные материалы гидрофизических исследований.

Список литературы

1. Агафонова Н. П., Мекеня А. И., Симоненко Я. А. Экономический анализ роли сферы туризма в России // Журнал прикладных исследований. – 2025. – № 7. – С. 98–105. – <https://doi.org/10.47576/2949-1878.2025.7.7.012>
2. Аннинский Б. Е., Финенко Г. А., Дацьк Н. А. Альтернативные условия массового появления сцифоидной медузы *Aurelia aurita* (Linnaeus, 1758) и гребневика *Pleurobrahia pileus* (O.F.Muller, 1776) в планктоне Черного моря // Юг России: экология, развитие. – 2020. – Т.15, № 2. – С. 35–47. – <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-2-35-47>
3. Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А., Федирко А. В., Шутлов С. А., Дерюшкин Д. В., Шаповалов Р. О., Шаповалов Ю. И., Щербаченко С. В. Циркуляция вод в северной части Черного моря летом – зимой 2018 года // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2020. – № 1. – С. 69–90. – <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-1-69-90>
4. Белокопытов В. Н. Климатические изменения гидрологического режима Черного моря : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.28. – Севастополь, 2017. – 42 с.
5. Губанова А. Д. Сезонные изменения видового состава и численности кормового зоопланктона Балаклавской бухты и сопредельных вод в 2024–2025 гг. // Биоразнообразие и устойчивое развитие. – 2025. – Т. 10, вып. 1. – С. 57–65. – <https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.1.05>
6. Демченко Н. П., Полякова Н. Ю. Об антропогенных и экономических факторах экологического состояния Крыма // Экономика строительства и природопользования. – 2020. – № 2. – С. 5–14. – <https://doi.org/10.37279/2519-4453-2020-2-5-14>
7. Дорофеев В. Л., Сухих Л. И. Анализ долговременной изменчивости гидродинамических полей в верхнем 200-метровом слое Черного моря на основе результатов реанализа // Морской гидрофизический журнал. – 2023. – Т. 39, № 5. – С. 617–630. – <https://www.elibrary.ru/pilfwg>

8. Епимахов В. Г. Оценка максимально допустимого уровня поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr с рационом в организм жвачных животных // Эпоха науки. – 2025. – № 41. – С. 3–9. – <https://doi.org/10.24412/2409-3203-2025-41-3-9>
9. Загородняя Ю. А. Оценка воздействия разлива нефтепродуктов в Керченском проливе осенью 2007 г. на зоопланктон // Экология моря / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2009. – Вып. 77. – С. 17–22.
10. Иванов В. А., Кузнецов А. С., Морозов А. Н. Мониторинг циркуляции прибрежных вод у Южного берега Крыма // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 485, № 4. – С. 507–510. – <https://doi.org/10.31857/S0869-56524854507-510>
11. Ковалев А. В., Мельников В. В., Островская Н. А., Прусова И. Ю. Макропланктон // Планктон Черного моря / АН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; отв. ред.: А. В. Ковалев, З. З. Финенко. – Киев : Наук. думка, 1993. – С. 183–193.
12. Ковалева И. В., Суслин В. В. Оценка долговременных изменений показателей продуктивности фитопланктона в шельфовой зоне северной и северо-восточной части Черного моря с использованием спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2025. – Т. 22, № 1. – С. 192–204. – <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2025-22-1-192-204>
13. Крушение танкеров в Керченском проливе // РБК 360. – 2025. – URL: <https://www.rbc.ru/society/04/04/2025/67efa3d99a79476c0fb6a917>. – Дата публ.: 04.04.2025.
14. Кузнецов А. С., Зима В. В., Щербаченко С. В. Изменчивость характеристик прибрежного течения у Южного берега Крыма в 2017–2019 годах // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2020. – № 3. – С. 5–16. – <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-3-5-16>
15. Кузьмина Н. С., Вдодович И. В., Солецкий Р. А. Экспериментальное воздействие мазута и дизельного топлива на личинок атерины // Вестник Астраханского государственного университета. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2023. – № 1. – С. 27–34. – <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-1-27-34>
16. Лисицкая Е. В. Таксономический состав и сезонная динамика меропланктона в районе мидийно-устричной фермы (Севастополь, Черное море) // Морской биологический журнал. – 2017. – Т. 2, № 4. – С. 38–49. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.4.04>
17. Остроумов С. А. Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем. – Москва : МАКС Пресс, 2005. – 100 с.
18. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа. Т. 2. Экологические последствия, мониторинг и регулирование при освоении углеводородных ресурсов шельфа. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ВНИРО, 2017. – 284 с.
19. Пионтковский С. А., Загородняя Ю. А., Серикова И. М., Минский И. А., Ковалева И. В., Георгиева Е. Ю. Межгодовая изменчивость физических и биологических характеристик вод крымского шельфа в летний сезон (2010–2020 годы) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2024. – № 2. – С. 39–59. – <https://www.elibrary.ru/cubyxi>
20. Пионтковский С. А., Минский И. А., Мегер Я. В. Многолетняя изменчивость биомассы зоопланктона в регионах Мирового океана с различным уровнем нефтяного загрязнения // Биоразнообразие и устойчивое развитие. – 2023. – Т. 8, вып. 4. – С. 20–33. – <https://doi.org/10.21072/eco.2023.28.02>
21. Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий Крыма: современное состояние и многолетние тренды / Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского РАН» ; под ред. С. В. Алемова. – Севастополь [и др.] : Т-во науч. изд. КМК, 2025. – 332 с.

22. Студеникина Е. И., Сафронова Л. М., Мирзоян З. А., Мартынюк М. Л., Фроленко Л. Н., Шляхова Н. А. Оценка современного состояния биологических сообществ Черного и Азовского морей в связи с аварией судов в Керченском проливе // Керченская авария: последствия для водных экосистем / Федер. агентство РФ по рыболовству, Азов. НИИ рыб. хоз-ва ; науч. ред.: И. Г. Корпакова, С. А. Агапов. – Ростов-на-Дону : АзНИИРХ, 2008. – С. 133–159.
23. Финенко Г. А., Аннинский Б. Е., Дацьк Н. А. Пространственное распределение, структура популяций желтелых хищников и пищевой пресс на зоопланктонное сообщество в прибрежных районах Крымского побережья Черного моря // Журнал Сибирского федерального университета. Сер.: Биология. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 168–181. – <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0336>
24. Чепыженко А. И., Чепыженко А. А. Загрязнение прибрежной зоны и пляжей Крыма муниципальными сточными водами (оценка состояния, методы мониторинга, инструментальное обеспечение, прогноз) // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018 : сб. ст. междунар. науч.-30. практ. конф., 24–27 сент. 2018 г. / Севастоп. гос. ун-т, Рос. фонд фундам. исслед. ; под ред. Л. И. Лукиной [и др.]. – Севастополь : СевГУ, 2018. – С. 1253–1258.
25. Чудиновских Е. С., Мельников В. В., Силаков М. И. Влияние основного черноморского течения на биологию развития черномор-31. ских желтелых // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Морская биология в 21 веке: биология развития, молекулярная и клеточная биология, биотехнология морских организмов», 12–15 сентября 2023 г., Владивосток, Россия / Нац. науч. центр мор. биологии им. А. В. Жирмун-32. ского ДВО РАН, Примор. океанариум – фил. ННЦМБ ДВО РАН. – Владивосток : ННЦМБ ДВО РАН, 2023. – С. 354–356.
26. Экологическая катастрофа в Черном море: получены новые данные о последствиях разлива мазута в Черном море // Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН. – 2025. – URL: <https://ocean.ru/index.php/novosti-left/novosti-instituta/item/3473>. – Дата публ.: 28.04.2025.
27. Юровский Ю. Ю., Малиновский В. В., Кориненко А. Е., Глухов Л. А., Дулов В. А. Перспективы радиолокационного мониторинга скорости ветра, спектров ветровых волн и скорости течения с океанографической платформы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2023. – № 3. – С. 40–54. – <https://www.elibrary.ru/ofynog>
28. Akpinar A., Sadighrad E., Fach B., Arkin S. Eddy induced cross-shelf exchanges in the Black Sea // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14, iss. 19. – Art. 4881. – <https://doi.org/10.3390/rs14194881>
29. Anninsky B. E. Organic composition and ecological energetics of jellyfish *Aurelia aurita* L. (Cnidaria, Scyphozoa) under the Black Sea conditions // Trophic relationships and food supply of heterotrophic animals in the pelagic ecosystem of the Black Sea / eds: G. E. Shulman [et al.]. – Istanbul, Turkey: [s. n.], 2009. – Chap. 3. – P. 99–160. – <https://www.elibrary.ru/clddbww>
30. Anninsky B. E., Finenko G. A., Datsyk N. A., Hubareva E. S. Expansion of gelatinous macrozooplankton in the open Black Sea off Crimea under the weather events of recent years // Mediterranean Marine Science. – 2022. – Vol. 23, iss. 3. – P. 460–472. – <https://doi.org/10.12681/mms.27021>
31. Anninsky B. E., Finenko G. A., Kideys A. E., Datsyk N. A. Environmental control on macro- and mesozooplankton biomass off Sevastopol bay: A 20-year analysis // Marine Environmental Research. 2025. – Vol. 211. – Art. 107447. – <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2025.107447>
32. Brotz L., Cheung W. W. L., Kleisner K., Pakhomov E., Pauly D. Increasing jellyfish populations: trends in large marine ecosystems // Hydrobiologia. – 2012. – Vol. 690. – P. 3–20. – <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1039-7>

33. Churnside J. H., Marchbanks R. D., Donaghay P. L., Sullivan J. M., Graham W. M., Wells R. J. D. Hollow aggregations of moon jellyfish (*Aurelia* spp.) // Journal of Plankton Research. – 2016. – Vol 38, iss. 1. – P. 122–130. – <https://doi.org/10.1093/plankt/fb-v092>
34. Dawson M. N., Martin L. E. Geographic variation and ecological adaptation in *Aurelia* (Scyphozoa, Semaestomeae): Some implications from molecular phylogenetics // Jellyfish blooms: Ecological and societal importance : proc. of the intern. conf. ... held in Gulf Shores, Alabama, 12–14 Jan. 2000 / eds: Purcell J. E. [et al.]. – Dordrecht, Netherlands : Springer, 2001. – P. 259–273.
35. El-Serehy H. The jellyfish *Aurelia aurita* (Cnidaria: Scyphomedusae): its life history strategy, migration activity and its impact on the zooplankton community of Suez Canal, Egypt // Egyptian Journal of Aquatic Research. – 2005. – Vol. 31, spec. iss. – P. 179–190.
36. Fossette S., Gleiss A. C., Chalumeau J., Bastian T., Armstrong C. D., Vandenabeele S., Karpytchev M., Hays G. C. Current-oriented swimming by jellyfish and its role in bloom maintenance // Current Biology. – 2015. – Vol. 25, iss. 3. – P. 342–347. – <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.11.050>
37. Gao Q., Chen J., Xu Z., Zhu D. Abundance distribution and seasonal variation of medusae, siphonophores and ctenophores in the Changjiang (Yangtze River) Estuary and the adjacent East China Sea // Acta Ecologica Sinica. – 2015. – Vol. 35, iss. 22. – P. 7328–7337. – <https://doi.org/10.5846/stxb201403210505>
38. Goldstein J., Steiner U. K. Ecological drivers of jellyfish blooms – the complex life history of a «well-known» medusa (*Aurelia aurita*) // Journal of Animal Ecology. – 2020. – Vol. 89, iss. 3. – P. 910–920. – <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13147>
39. Ishii H., Kojima S., Tanaka Y. Survivorship and production of *Aurelia aurita* ephyrae in the innermost part of Tokyo Bay, Japan // Plankton Biology and Ecology. – 2004. – Vol. 51, iss. 1. – P. 26–35.
40. Kogovšek T., Bogunović B., Malej A. Recurrence of bloom-forming scyphomedusae: wavelet analysis of a 200-year time series // Hydrobiologia. – 2010. – Vol. 645. – P. 81–96. – <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0217-8>
41. Kovalev A. V., Piontkovski S. A. Interannual changes in the biomass of the Black Sea gelatinous zooplankton // Journal of Plankton Research. – 1998. – Vol. 20, iss. 7. – P. 1377–1385. – <https://doi.org/10.1093/plankt/20.7.1377>
42. Kuznetsov A. S., Ivashchenko I. K. Long-term average annual spectral characteristics of the coastal current long-period oscillations off the Southern Coast of Crimea // Physical Oceanography. – 2025. – Vol. 32, iss. 1. – P. 32–45. – <https://www.elibrary.ru/uupgzg>
43. Loveridge A., Lucas C. H., Ford D. Influence of in-situ temperature and material provisioning on the medusa-to-polyp transition in a year-round population of the scyphozoan *Aurelia aurita* // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. – 2024. – Vol. 104. – Art. e58. – <https://doi.org/10.1017/S0025315424000468>
44. Lucas C. H. Population dynamics of *Aurelia aurita* (Scyphozoa) from an isolated brackish lake, with particular reference to sexual reproduction // Journal of Plankton Research. – 1996. – Vol. 18, iss. 6. – P. 987–1007. – <https://doi.org/10.1093/plankt/18.6.987>
45. Lucas C. H. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment // Hydrobiologia. – 2001. – Vol. 451, iss. 1/3. – P. 229–246. – <https://doi.org/10.1023/A:1011836326717>
46. Miyake H., Iwao K., Kakinuma Y. Life history and environment of *Aurelia aurita* // South Pacific Study. – 1997. – Vol. 17, no. 2. – P. 273–285.
47. Mutlu E. Distribution and abundance of moon jellyfish (*Aurelia aurita*) and its zooplankton food in the Black Sea // Marine Biology. –

2001. – Vol. 138, iss. 2. – P. 329–339. – <https://doi.org/10.1007/s002270000459>
48. Oguz T., Dippner J. W., Kaymaz Z. Climatic regulation of the Black Sea hydrometeorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales // Journal of Marine Systems. – 2006. – Vol. 60, iss. 3/4. – P. 235–254. – <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.11.011>
49. Oil spill accident in the Kerch Strait in November 2007 / eds: A. Korshenko [et al.]. – Moscow : Nauka, 2011. – 284 p. – <https://www.elibrary.ru/qkkwzv>
50. Piontkovski S. A., O'Brien T. D., Umani S. F., Krupa E. G., Stuge T. S., Balymbetov K. S., Grishaeva O. V., Kasymov A. G. Zooplankton and the North Atlantic Oscillation: A basin scale analysis // Journal of Plankton Research. – 2006. – Vol. 28, iss. 11. – P. 1039–1046. – <https://doi.org/10.1093/plankt/fbl037>
51. Pitt K. A., Lucas C. H., Condon R. H., Duarte C. M., Stewart-Koster B. Claims that anthropogenic stressors facilitate jellyfish blooms have been amplified beyond the available evidence: A systematic review // Frontiers in Marine Science. – 2018. – Vol. 5. – Art. 451. – <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00451>
52. Purcell J. E. Environmental effects on asexual reproduction rates of the scyphozoan *Aurelia labiata* // Marine Ecology – Progress Series. – 2007. – Vol. 348. – P. 183–196. – <https://doi.org/10.3354/meps07056>
53. Rakow K. C., Graham W. M. Orientation and swimming mechanics by the scyphomedusa *Aurelia* sp. in shear flow // Limnology and Oceanography. – 2006. – Vol. 51, iss. 2. – P. 1097–1106. – <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.2.1097>
54. Schnedler-Meyer N. A., Kiørboe T., Mariani P. Boom and bust: life history, environmental noise, and the (un) predictability of jellyfish blooms // Frontiers in Marine Science. – 2018. – Vol. 5. – Art. 257. – <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00257>
55. Zagorodnyaya Yu. A., Piontkovski S. A., Gubanov V. V. Pelagic ecosystem of the Black Sea goes gelatinous // Marine Biology Research. – 2023. – Vol. 19, iss. 6/7. – P. 317–326. – <https://doi.org/10.1080/17451000.2023.2235571>
56. Zodiatis G., Radhakrishnan H., Nikolaidis A., Soloviev D., Prokopi K. The modeling of oil pollution in the Kerch Strait in December 2024 // EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr. – 2 May 2025, EGU25-6129. – <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-6129>
57. Wang F., Shao W., Yu H., Kan G., He X., Zhang D., Ren M., Wang G. Re-evaluation of the power of the Mann – Kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series // Frontiers in Earth Science. – 2020. – Vol. 8. – Art. 14. – <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00014>
58. Weisse T., Gomoiu M.-T. Biomass and size structure of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in the northwestern Black Sea during spring and summer // Journal of Plankton Research. – 2000. – Vol. 22, iss. 2. – P. 223–239. – <https://doi.org/10.1093/plankt/22.2.223>

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE FUEL OIL SPILL IN DECEMBER 2024 ON THE CRIMEAN SHELF ECOSYSTEM

Piontkovski S. A.^{1,2}, Zagorodnyaya Yu. A.², Samotoy Yu. V.², Popova E. V.²,
Baiandin A. S.², Kalujnaya S. N.²

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation,

²A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: spiontkovski@mail.ru

Abstract: The northern Black Sea coast is considered one of the main recreational regions of Russia. A significant role in it belongs to the Crimean Peninsula, where, along with recreation, agricultural complexes, construction, land and sea cargo transportation are intensively developing. As a result, terrestrial and coastal ecosystems experience a large anthropogenic load. The disaster of two ships in the Kerch Strait in December 2024, carrying

9,000 tons of fuel oil, resulted in multiple losses, including the impact of the fuel oil spill on the shelf ecosystem awaiting its assessment. In this regard, meroplankton organisms, the life cycle of which links the pelagic and benthic communities, were selected for the study. Changes in the abundance and biomass of the jellyfish *Aurelia aurita* (Linnaeus, 1758), which is dominant in the total biomass of zooplankton, and changes in the abundance of bivalve larvae were studied. Collection of 170 samples with plankton nets in the water layer above the shelf in five expeditions (from August 2024 to August 2025), their processing and analysis showed that the fuel oil spill did not affect the seasonal dynamics of jellyfish biomass and the total number of bivalve larvae. Large mesoscale variability of biomass was noted with a variation coefficient from 70 to 100 %.

Keywords: oil pollution, zooplankton, jellyfish, interannual variability, Black Sea

Сведения об авторах

Пионтовский Сергей Александрович	доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, e-mail: spiontkovski@mail.ru
Загородняя Юлия Анатольевна	ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: artam-ant@yandex.ru
Самотой Юлия Владимировна	младший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: samotoi@ibss-ras.ru
Попова Елена Викторовна	ведущий инженер, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: el-popova@yandex.ru
Баяндин Алексей Сергеевич	ведущий инженер, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: baiandin_as@ibss-ras.ru
Калюжная София Николаевна	инженер, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: el-s.ktulhowa@ibss-ras.ru

Поступила в редакцию 02.09.2025

Принята к публикации 16.10.2025