

УДК 595.341.1-15(262.5)

DOI: [10.21072/eco.2024.09.4.03](https://doi.org/10.21072/eco.2024.09.4.03)

СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ КОПЕПОДЫ *CALANUS EUXINUS* В СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ ГЛУБОКОВОДНЫХ И ШЕЛЬФОВЫХ РАЙОНАХ У БЕРЕГОВ КАВКАЗА (ЧЁРНОЕ МОРЕ) ОСЕНЬЮ 2019 г. *

Губарева Е. С.

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

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: ehubareva@ibss.su

Аннотация: Исследованы численность, биомасса, размерно-возрастная структура и жировые резервы популяции *Calanus euxinus* Hulsemann, 1991 (Copepoda) в северо-восточных глубоководных районах Чёрного моря и шельфовой зоне у берегов Кавказа на основе полевого материала, собранного в октябре 2019 г. (110-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»). Жировые резервы определены по удельному объёму жирового мешка у старших копеподитных стадий, самок и самцов *C. euxinus*. Средние численность и биомасса *C. euxinus* в открытой северо-восточной части кавказского сектора моря составили соответственно $(3,9 \pm 1,2)$ тыс. экз.·м⁻² и $(3,4 \pm 0,3)$ г·м⁻². Низкие величины численности и биомассы популяции *C. euxinus* могут быть связаны с продолжающимся потеплением климата и изменениями гидрологического режима Чёрного моря. Вследствие экстремально тёплой зимы 2018/2019 гг. интенсивность зимнего конвективного перемешивания воды снизилась и вертикальный перенос биогенных элементов в фотическую зону был ослаблен, что создало неблагоприятные условия для весеннего развития массовых видов фитопланктона. На фоне низкой плотности популяции *C. euxinus* в кавказском секторе моря формирование больших запасов липидов (до 23 % объёма тела) у V копеподитов оказалось возможным благодаря способности этих копепод потреблять крупноклеточные диатомовые водоросли, устойчивые к недостатку биогенов. Высокая доля старших копеподитных стадий, самцов и самок (до 87 % общей численности популяции) свидетельствует о значительном репродуктивном потенциале вида в глубоководных районах моря осенью 2019 г.

Ключевые слова: *Calanus euxinus*, численность, биомасса, резервные липиды, Чёрное море

Введение

Calanus euxinus Hulsemann, 1991 (Copepoda) является массовым представителем холодноводного комплекса организмов, составляя до 75 % биомассы мезозоопланктона в глубоководной части Чёрного моря [Аннинский, Тимофте, 2009; Загородняя и др., 2023; Arashkevich et al., 2014]. Этот вид, обладая большими размерами тела (до 4,5 мм), отличается способностью накапливать значительные (30–40 % массы тела) запасы энергоёмких липидов в жировом мешке [Svetlichny et al., 2009]. *C. euxinus* играет ключевую роль в функционировании трофической сети пелагической экосистемы, формируя основную часть рациона мелких рыб-планктофагов в открытой части Чёрного моря [Yuneva et al., 2016].

Средняя биомасса *C. euxinus* в 1980–1990-х гг. составляла около 5,0 г·м⁻² в глубоководных южных районах [Виноградов, Сапожников, Шушкина, 1992], варьируя в пределах от 7 до 11 г·м⁻² в центральной части Чёрного моря [Ковалев, 1996]. Вселение гребневика-планктофага *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 в начале 1990-х гг. привело к резкому уменьшению средней биомассы *C. euxinus* до 0,5–3 г·м⁻² [Ковалев, 1996; Vinogradov et al., 1999].

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и молекулярно-генетические механизмы адаптации морских организмов к условиям экстремальных экотопов Чёрного и Азовского морей и других акваторий Мирового океана» (2024–2026 гг.), № гос. регистрации 124030100137-6.

После появления в Чёрном море облигатного хищника *Beroe ovata* Bruguière, 1789, сократившего популяцию *M. leidy*, биомасса *C. euxinus* в сентябре — октябре 1999 г. в северо-восточных районах моря достигла уже $11 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ [Arashkevich et al., 2002]. В осенние сезоны 2005, 2016 и 2017 гг. средняя биомасса этой копеподы составила $6,2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ [Аннинский, Тимофте, 2009], $7,1 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ [Губарева, Аннинский, 2022] и $7,3 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2}$ [Губарева, Аннинский, 2024] в глубоководных западных и северных частях моря.

Продолжающееся потепление в Черноморском регионе привело к соответствующим изменениям гидрологического режима моря: повышению температуры верхних и глубинных слоёв, замедлению зимнего конвективного перемешивания, снижению интенсивности вертикального переноса биогенных элементов в зону фотосинтеза, уменьшению запаса кислорода в аэробной зоне [Видничук, Коновалов, 2021; Гинзбург и др., 2021; Новикова, Полонский, 2018]. Так, в 2017 г. в северо-восточной части моря отмечено снижение запаса минерального азота (основного лимитирующего элемента для развития фитопланктона) в 1,7 раз по сравнению с предыдущими годами [Арашкевич и др., 2018]. На фоне современной тенденции потепления климата в пелагической экосистеме Чёрного моря происходят существенные трансформации, включающие как структурные преобразования в биоте, так и изменения в функционировании популяций морских организмов.

Цель настоящей работы — исследовать численность, биомассу, возрастную структуру и жировые резервы популяции копеподы *Calanus euxinus* в северо-восточных районах глубоководной пелагиали и кавказского шельфа Чёрного моря в октябре 2019 г. в условиях продолжающегося регионального потепления.

Материал и методы

Полевые исследования были проведены в период с 14 по 22 октября 2019 г. (110-й рейс НИС «Профессор Водяницкий») на 24 станциях в северо-восточных глубоководных районах (глубины $> 200 \text{ м}$) и зоне внешнего (глубины $50\text{--}200 \text{ м}$) и внутреннего (глубины $< 50 \text{ м}$) кавказского шельфа Чёрного моря в секторе с координатами $43^{\circ}30'\text{--}43^{\circ}55'$ с. ш. и $36^{\circ}08'\text{--}36^{\circ}30'$ в. д. (рис. 1).

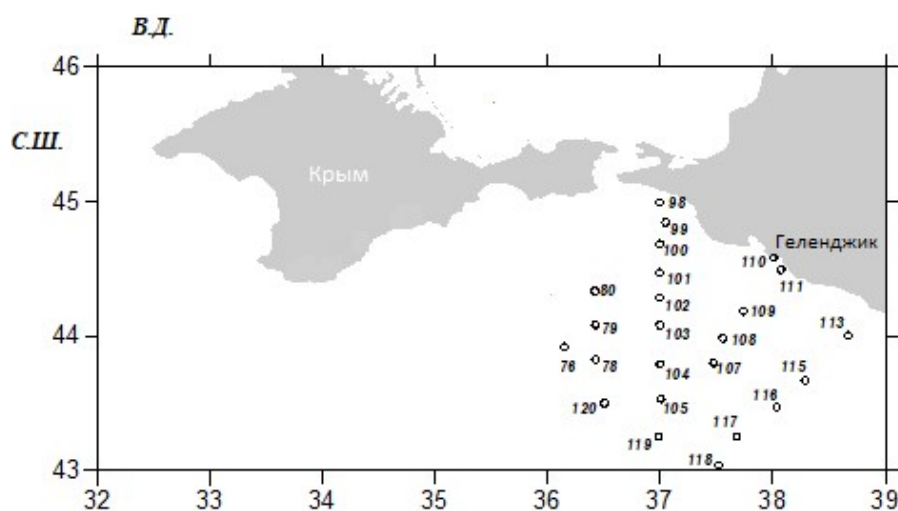


Рис. 1. Карта-схема района исследований и станций сбора планктонных проб в северо-восточных районах Чёрного моря в октябре 2019 г. (110-й рейс НИС «Профессор Водяницкий»)

Глубоководные станции (глубины 273–2100 м) находились в ядрах циклонической циркуляции с глубиной залегания нижней границы кислородной зоны (НГКЗ) менее 125 м (10 станций), на периферии циклонических круговоротов с НГКЗ от 126 до 150 м (11 станций) и в антициклонических районах с НГКЗ от 150 до 160 м (1 станция). На внешнем (глубины 50–200 м) и внутреннем (глубины < 50 м) шельфе располагалось по одной станции.

На каждой станции измеряли температуру поверхности моря, солёность и удельную плотность морской воды (σ_t) с использованием зонда CTD Sea Bird 911 Plus.

Сбор проб мезозoopланктона проводили вертикальными ловами от дна или нижней границы кислородной зоны (НГКЗ, с удельной плотностью морской воды $\sigma_t = 16,2$) до поверхности моря при помощи сети Богорова — Расса (площадь входного отверстия 0,5 м², ячей 300 мкм). Пробы фиксировали 4%-ным раствором нейтрализованного боратами формалина. В лаборатории, в камере Богорова, под стереомикроскопом определяли количество всех возрастных стадий *C. euxinus* и производили необходимые морфометрические измерения особей.

Расчёт индивидуальной сырой массы копеподитных стадий, самцов и самок *C. euxinus* (WW, мг) выполняли по формуле:

$$WW = 0,58 \times l \times d^2 \times \rho, \quad (1)$$

где l — длина просомы, мм;

d — ширина просомы, мм;

ρ — средняя плотность тела, г·см⁻³ (от 1,01 до 1,07 г·см⁻³, в зависимости от жирности особей) [Светличный, Губарева, 2011].

Для определения объёма тела копеподитов и половозрелых особей (V , мм³) использовали формулу:

$$V_b = k \times L_{pr} \times d_{pr}^2, \quad (2)$$

где L_{pr} — длина просомы, мм;

d_{pr} — ширина просомы, мм;

k — эмпирический коэффициент, равный 0,64 у самцов и 0,58 у копеподитов и самок [Svetlichny et al., 2009].

Объём жирового мешка (V_{sac}) рассчитывали в соответствии с формулой:

$$V_{sac} = \pi \times l_{sac} \times d_{sac}^2 / 6, \quad (3)$$

где l_{sac} — длина жирового мешка, мм;

d_{sac} — ширина жирового мешка, мм [Светличный, Губарева, 2014].

Статистическую обработку данных выполняли с помощью программ Microsoft Excel 2010, Grapher 7 и PAST 4.05 [Hammer, Harper, Ryan, 2001]. Для оценки различий между средними величинами (с учётом их стандартной ошибки) использовали t -критерий Стьюдента и непараметрический критерий Манна — Уитни.

Результаты и обсуждение

Количественное распределение *C. euxinus*. В период с 14 по 22 октября 2019 г. температура поверхности моря (ТПМ) в районе исследования изменялась от 17,4 до 19,3 °С (в среднем $18,7 \pm 0,1$) °С). Солёность незначительно варьировала в пределах 18,4–18,5 ‰.

В глубоководной области пелагиали кавказского сектора моря распределение численности и биомассы *C. euxinus* в основном определялось локализацией и активностью черноморских

квазистационарных гидродинамических образований. Максимумы численности ($7,4$ тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-2}$) и биомассы ($5,7$ г $\cdot\text{м}^{-2}$) копеподы в октябре 2019 г. были отмечены в периферической области циклонического круговорота (с НГКЗ от 121 до 150 м), подверженной влиянию Основного Черноморского течения (ОЧТ). В зоне воздействия Керченского антициклона с глубиной залегания НГКЗ более 150 м численность вида не превышала $3,0$ тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-2}$, а биомасса — $2,2$ г $\cdot\text{м}^{-2}$. Средние численность и биомасса *C. euxinus* в открытой северо-восточной части моря составили соответственно $(3,9 \pm 1,2)$ тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-2}$ и $(3,4 \pm 0,3)$ г $\cdot\text{м}^{-2}$, оказавшись незначительно ($p > 0,05$) ниже, чем аналогичные популяционные параметры для этого вида в глубоководной пелагиали крымского сектора (соответственно $(5,1 \pm 0,6)$ тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-2}$ и $(3,1 \pm 0,2)$ г $\cdot\text{м}^{-2}$) в тот же осенний сезон 2019 г. [Губарева, Аннинский, 2025].

По мере сужения вертикальных границ естественного биотопа численность и биомасса *C. euxinus* в кавказском секторе моря также снижались. В зоне внешнего шельфа численность вида составила $2,4$ тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-2}$, а биомасса резко сократилась до $0,46$ г $\cdot\text{м}^{-2}$, что можно объяснить доминированием в мелководных районах младших возрастных стадий *C. euxinus*. На внутреннем шельфе численность и биомасса копеподы не превышали соответственно $0,16$ тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-2}$ и $0,019$ г $\cdot\text{м}^{-2}$.

По сравнению с соответствующими популяционными показателями для *C. euxinus* ($(4,7 \pm 1,5)$ тыс. экз. $\cdot\text{м}^{-2}$ и $(1,7 \pm 1,1)$ г $\cdot\text{м}^{-2}$) на крымском внешнем шельфе [Губарева, Аннинский, 2025], средние величины численности и биомассы копеподы в кавказском секторе моря оказались ниже ($p > 0,05$).

По-видимому, более низкие величины численности и биомассы популяции *C. euxinus* в кавказском секторе могут быть обусловлены влиянием температурного фактора. В октябре 2019 г. температура воды у берегов Крыма была ниже (от $17,2$ до $18,1$ °С, в среднем $(17,8 \pm 0,1)$ °С), чем в районе исследования кавказского сектора моря. Северо-восточная часть моря испытывает влияние перемещающихся на северо-запад тёплых вод ОЧТ. Отмечено, что зима 2018/2019 гг. в Черноморском регионе была экстремально мягкой, с превышением средней температуры воздуха на $2,7$ °С [Гинзбург и др., 2021]. Более того, температура поверхности моря в зимний период в кавказском секторе была на 1 °С выше, чем у берегов Крыма (<http://pogoda.turtella.ru>). Увеличение температуры морской поверхности привело к снижению интенсивности зимнего конвективного перемешивания воды, ослаблению вертикального переноса биогенных элементов в фотический слой и ухудшению кислородного режима во всей аэробной зоне, что оказало негативное воздействие на весеннее развитие фитопланктона [Видничук, Коновалов, 2021]. Продолжает расти температура вод холодного промежуточного слоя (ХПС), в середине 2000-х гг. не превышавшая 8 °С [Новикова, Полонский, 2018]. Для *C. euxinus*, большая часть жизненного цикла которого проходит в холодных гипоксических слоях моря, повышение температуры ядра ХПС может лимитировать его развитие и даже, при сочетании ряда факторов, оказаться критическим. Тем не менее отмеченное осенью 2019 г. замедленное сезонное выхолаживание моря, по-видимому, способствовало метаморфозу младших возрастных стадий этого вида. Низкая плотность популяции *C. euxinus* в северо-восточном секторе моря, возможно, связана с воздействием желетелых хищников-планктофагов. Так, в 2019 г. биомасса *M. leidy* в глубоководных районах возросла до (144 ± 21) г $\cdot\text{м}^{-2}$ [Anninsky, Finenko, Datsyk, 2024].

Возрастная структура популяции *C. euxinus*. В октябре 2019 г. в кавказском секторе моря была отмечена типичная для глубоководной пелагиали возрастная структура популяции *C. euxinus* (рис. 2).

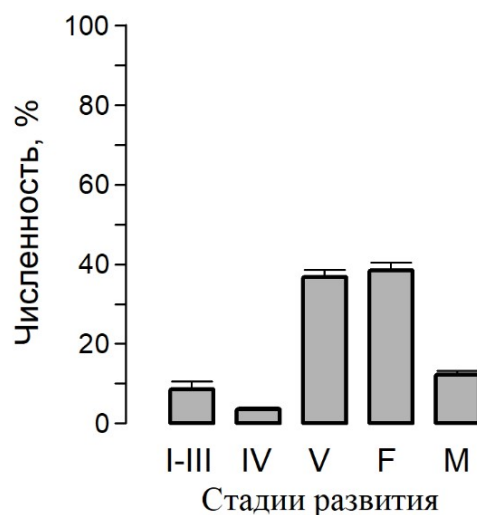


Рис. 2. Возрастная структура (% общей численности) популяции *Calanus euxinus* в северо-восточных глубоководных районах Чёрного моря

Доли V копеподитов, самок и самцов составили соответственно ($36,8 \pm 2,4$; $36,7 \pm 2,3$ и $13,1 \pm 1,2$) % численности популяции, тогда как доли I–III и IV копеподитов не превышали ($8,6 \pm 2,0$ и $3,5 \pm 0,6$) % численности популяции. Высокая относительная численность старших возрастных стадий *C. euxinus* свидетельствовала о зрелости популяции и её готовности к репродуктивному периоду. В крымском секторе моря в этот осенний сезон в популяции *C. euxinus* было меньше самок и самцов ($(25,3 \pm 2,4)$ и $(8,8 \pm 1,8)$ % соответственно) и в 3 раза ($p < 0,001$) больше младших копеподитов ($(25,5 \pm 2,6)$ %), что указывало на активное воспроизводство вида в этой зоне [Губарева, Аннинский, 2025].

Жировые запасы популяции *C. euxinus*. Содержание резервных липидов в теле *C. euxinus* из глубоководных районов кавказского сектора моря достигало ($23,6 \pm 1,3$) % у V копеподитов, ($14,1 \pm 4,2$) % у самок и ($11,1 \pm 1,2$) % у самцов (рис. 3).

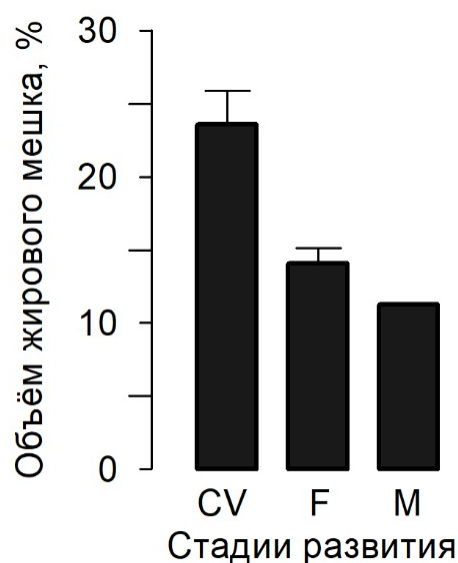


Рис. 3. Объём жировых мешков (% объёма тела) у V копеподитов (CV), самок (F) и самцов (M) *Calanus euxinus* из северо-восточных глубоководных районов Чёрного моря в октябре 2019 г.

Средний удельный объём жировых мешков у самок и самцов из открытой части крымского сектора моря был немного меньше ($(10,2 \pm 1,8)$ и $(9,8 \pm 0,5)$ % соответственно), чем у берегов Кавказа, тогда как жировые запасы у V копеподитов из двух сопоставляемых районов оказались примерно одинаковыми [Губарева, Аннинский, 2025]. Показано, что содержание резервных липидов в теле *C. euxinus* является критерием обеспеченности пищей для этой холодноводной копеподы [Yuneva et al., 1997]. Большое количество накопленного жира у старших копеподитных стадий *C. euxinus* в кавказском секторе моря может служить признаком того, что в глубоководных районах копеподы находили достаточное количество пищи для аккумуляции липидов на фоне продолжающегося потепления климата и его последствий (повышение температуры воды, ослабление зимнего конвективного перемешивания водных масс и насыщения зоны фотосинтеза биогенными элементами, снижение концентрации кислорода в водной толще). Вследствие экстремально тёплой зимы 2018/2019 гг. [Гинзбург и др., 2021] вертикальный перенос биогенов в фотическую зону был замедлен, массовые виды диатомовых водорослей не получили достаточно силикатов и азота для своего развития и пищевые потребности *C. euxinus*, по-видимому, в полной мере не удовлетворялись. Однако низкая плотность популяции *C. euxinus* и слабая внутривидовая конкуренция за пищу также способствовали созданию благоприятных условий для аккумуляции жировых резервов у старших возрастных стадий. Очевидно, следует учитывать то, что крупные *C. euxinus* с мощным фильтрационным аппаратом, в отличие от копепод с небольшими размерами тела, имеют возможность питаться крупноклеточными диатомовыми водорослями, устойчивыми к недостатку биогенов в воде и высокой интенсивности солнечной радиации [Stelmakh, Kovrigina, Gorbunova, 2023]. Большой удельный объём жировых мешков у V копеподитных стадий *C. euxinus* отражает высокий репродуктивный потенциал вида, так как жировые резервы, на 80 % состоящие из инертных восков, используются в процессе развития копепод в основном для образования гонад [Yuneva et al., 1999].

Заключение

В глубоководной области пелагиали кавказского сектора моря в октябре 2019 г. распределение численности и биомассы *C. euxinus* в основном определялось локализацией и активностью черноморских квазистационарных гидродинамических образований. Максимумы численности ($7,4$ тыс. экз. $\cdot$ м $^{-2}$) и биомассы ($5,7$ г $\cdot$ м $^{-2}$) этой копеподы были отмечены в периферической области восточного циклонического круговорота. Средние численность и биомасса *C. euxinus* в открытой северо-восточной части моря составили соответственно $(3,9 \pm 1,2)$ тыс. экз. $\cdot$ м $^{-2}$ и $(3,4 \pm 0,3)$ г $\cdot$ м $^{-2}$. В зоне шельфа численность вида снизилась до $2,4$ тыс. экз. $\cdot$ м $^{-2}$, а биомасса — до $0,46$ г $\cdot$ м $^{-2}$, что можно объяснить доминированием в мелководных районах младших возрастных стадий *C. euxinus*. Низкие величины численности и биомассы популяции *C. euxinus* в кавказском глубоководном секторе моря могут быть связаны с продолжающимся потеплением климата и изменениями гидрологического режима. Вследствие экстремально тёплой зимы 2018/2019 гг. интенсивность зимнего конвективного перемешивания воды снизилась и вертикальный перенос биогенных элементов в фотическую зону был ослаблен, что создало неблагоприятные условия для весеннего размножения фитопланктона. Массовые виды диатомовых водорослей не получили достаточно силикатов и азота для своего развития, и пищевые потребности *C. euxinus* в полной мере не удовлетворялись. Однако, благодаря способности этих копепод потреблять крупноклеточные диатомовые водоросли, устойчивые к недостатку биогенов, формирование больших запасов липидов (до 23 % объёма тела) у V копеподитов оказалось возможным на фоне низкой плотности популяции *C. euxinus* в кавказском секторе моря. Высокая доля копеподитов V стадии развития (совместно с самками и самцами, составлявшими 87 % общей численности популяции), накопивших большое количество резервного жира, отражает значительный репродуктивный потенциал вида в глубоководных районах моря осенью 2019 г.

Список литературы

1. Аннинский Б. Е., Тимофеев Ф. Распределение зоопланктона в западном секторе Чёрного моря в октябре 2005 г. // Морской экологический журнал. – 2009. – Т. 8, № 1. – С. 17–31. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/996>
2. Арашкевич Е. Г., Луппова Н. Е., Подымов О. И., Часовников В. К. Экологический мониторинг пелагического сообщества // Некоторые результаты комплексной прибрежной экспедиции «Чёрное море – 2017» на МНИС «Ашамба» / под ред. А. Г. Зацепина, С. Б. Куклева. – Москва : Науч. мир, 2018. – С. 44–66.
3. Видничук А. В., Коновалов С. К. Изменение кислородного режима глубоководной части Чёрного моря за период 1980–2019 годы // Морской гидрофизический журнал. – 2021. – Т. 37, № 2. – С. 195–206. – <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2021-2-195-206>
4. Виноградов М. Е., Сапожников В. В., Шушкина Э. А. Экосистема Чёрного моря. – Москва : Наука, 1992. – 111 с.
5. Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Серых И. В., Лебедев С. А. Климатические изменения гидрометеорологических параметров Чёрного и Азовского морей (1980–2020 гг.) // Океанология. – 2021. – Т. 61, № 6. – С. 900–912. – <https://doi.org/10.31857/S003015742106006X>
6. Губарева Е. С., Аннинский Б. Е. Аномальное сокращение численности и биомассы копепоиды *Calanus euxinus* в глубоководных районах Чёрного моря осенью 2019 г. Что происходит в морской экосистеме? // Морской биологический журнал. – 2025. – Т. 10, № 1. – С. 1–15. (В печати).
7. Губарева Е. С., Аннинский Б. Е. Количественное распределение и жировые запасы популяции *Calanus euxinus* (Copepoda) в Чёрном море в позднеосенний период 2017 г. // Океанология. – 2024. – Т. 64, № 3. – С. 462–472. – <https://doi.org/10.31857/S0030157424030074>
8. Губарева Е. С., Аннинский Б. Е. Состояние популяции *Calanus euxinus* (Copepoda) в открытой пелагиали и зоне крымского шельфа Чёрного моря осенью 2016 г. // Морской биологический журнал. – 2022. – Т. 7, № 3. – С. 17–27. – <https://doi.org/10.21072/mbj.2022.07.3.02>
9. Загородняя Ю. А., Драгун И. Е., Галаговец Б. А., Гарбазей О. А., Губанов В. В., Кудякова А. С., Литвинюк Д. А., Попова Е. В. Сезонные изменения численности, биомассы и видового разнообразия зоопланктона в открытом море у берегов Крыма (Чёрное и Азовское моря) // Океанология. – 2023. – Т. 63, № 2. – С. 255–265. – <https://doi.org/10.31857/S0030157423010173>
10. Ковалев А. В. Изменение состава и количественных показателей зоопланктона в период интенсивного антропогенного воздействия на экосистему моря // Современное состояние ихтиофауны Чёрного моря / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; под ред. С. М. Коновалова. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 1996. – С. 134–138.
11. Новикова А. М., Полонский А. Б. Междесятилетняя изменчивость температуры поверхности и холодного промежуточного слоя в Чёрном море // Системы контроля окружающей среды. – 2018. – № 14. – С. 110–115. – <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-110-115>
12. Светличный Л. С., Губарева Е. С. Продукционные характеристики *Calanus euxinus* – важного компонента кормовой базы планктоноядных рыб Чёрного моря // Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского ; ред.: В. Н. Еремеев [и др.]. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2011. – С. 283–293.

13. Светличный Л. С., Губарева Е. С. Состояние популяции *Calanus euxinus* (Copepoda) в северо-западной части Чёрного моря в октябре 2010 г. // Морской экологический журнал. – 2014. – Т. 13, № 1. – С. 69–71. – <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1326>
14. Anninsky B. E., Finenko G. A., Datsyk N. A. Mesozooplankton communities in deep-water areas of the Black Sea: are their composition and biomass regulated by the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 // Biology Bulletin. – 2024. – Vol. 51, nr 1. – P. 165–176. – <https://doi.org/10.1134/S106235902360397X>
15. Arashkevich E. G., Drits A. V., Timonin A. G., Kremenetsky V. V. Variability of spatial zooplankton distribution affected by the water dynamics in the northeastern part of the Black Sea // Oceanology. – 2002. – Vol. 42, suppl. 1. – P. 579–594.
16. Arashkevich E. G., Stefanova K., Bandelj V., Siokou I., Terbiyik K. T., Ak Orek Y., Timofte F., Timonin A., Solidoro C. Mesozooplankton in the open Black Sea: regional and seasonal characteristics // Journal of Marine Systems. – 2014. – Vol. 135. – P. 81–96. – <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.07.011>
17. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaentologia Electronica. – 2001. – Vol. 4, iss. 1. – Art. 4. – https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
18. Stelmakh L., Kovrigina N., Gorbunova T. Phytoplankton seasonal dynamics under conditions of climate change and anthropogenic pollution in the western coastal waters of the Black Sea (Sevastopol Region) // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11, iss. 3. – Art. 569. – <https://doi.org/10.3390/jmse11030569>
19. Svetlichny L., Yuneva T., Hubareva E., Schepkina A., Besiktepe S., Kideys A., Bat L., Sahin F. Development of *Calanus euxinus* during spring cold homothermy in the Black Sea // Marine Ecology Progress Series. – 2009. – Vol. 374. – P. 199–213. – <https://doi.org/10.3354/meps07740>
20. Vinogradov M. E., Shushkina E. A., Mikaelyan A. S., Nezlin N. P. Temporal (seasonal and interannual) changes of ecosystem of the open waters of the Black Sea // Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies / eds: S. Besiktepe [et al.]. – Dordrecht [et al.] : Kluwer Acad. Publ., 1999. – P. 109–129. – (NATO Science Series ; vol. 56). – https://doi.org/10.1007/978-94-011-4568-8_8
21. Yuneva T. V., Svetlichny L. S., Yunev O. A., Georgieva L. V., Senichkina L. G. Spatial variability of *Calanus euxinus* lipid content in connection with chlorophyll concentration and phytoplankton biomass // Oceanology. – 1997. – Vol. 37, nr 5. – P. 672–678. – <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.760238>
22. Yuneva T. V., Svetlichny L. S., Yunev O. A., Romanova Z. A., Kideys A. E., Bingel F., Yilmaz A., Uysal Z., Shulman G. E. Nutritional condition of female *Calanus euxinus* from cyclonic and anticyclonic regions of the Black Sea // Marine Ecology Progress Series. – 1999. – Vol. 189. – P. 195–204. – <https://doi.org/10.3354/meps189195>
23. Yuneva T. V., Zabelinsky S. A., Datsyk N. A., Schepkina A. M., Nikolski V. N., Shulman G. E. Influence of food quality on lipids and essential fatty acids in the body of the Black Sea sprat *Sprattus sprattus phalericus* (Clupeidae) // Journal of Ichthyology. – 2016. – Vol. 56, nr 3. – P. 397–405. – <https://doi.org/10.7868/S0042875216030218>

**POPULATION STATUS OF COPEPOD *CALANUS EUXINUS* IN THE NORTHEASTERN
DEEP-SEA AREAS AND SHELF ZONE OFF THE COAST OF THE CAUCASUS
(BLACK SEA) IN AUTUMN 2019**

Hubareva E. S.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,

e-mail: ehubareva@ibss.su

Abstract: The aim of the present work was to study the abundance, biomass, size-age structure and lipid reserves of the population of *Calanus euxinus* Hulsemann, 1991 (Copepoda) in the northeastern deep-sea areas and shelf zone off the coast of the Caucasus (Black Sea) based on the field material collected in October 2019 (110th cruise of the R/V «Professor Vodyanitsky»). Lipid reserves were estimated basing on the specific oil sac volume (% of the body volume) in the late copepodite stages, females and males of *C. euxinus*. Mean abundance and biomass of *C. euxinus* in the open northeastern part of the Caucasus sector of the sea were (3.9 ± 1.2) thousand ind. $\cdot$ m⁻² and (3.4 ± 0.3) g m⁻², respectively. Low values of the abundance and biomass of the *C. euxinus* population may be related to ongoing climate warming and changes in the hydrological regime of the Black Sea. Due to the extremely warm winter of 2018/2019, the intensity of winter convective mixing of seawater decreased and the vertical transfer of nutrients to the photic zone was weakened, which created unfavorable conditions for the spring development of mass phytoplankton species. Against the background of the low population density of *C. euxinus* in the Caucasian sector of the sea, the formation of large amount of lipid reserves (up to 23 % of body volume) in V copepodites occurred due to the ability of these copepods to consume large-celled diatoms which are resistant to a lack of nutrients. The high proportion of late copepodite stages, females and males (up to 87 % of the total population) indicated significant reproductive potential of the species in the deep-sea areas in autumn of 2019.

Keywords: *Calanus euxinus*, abundance, biomass, lipid reserves, Black Sea

Сведения об авторе

Губарева
Елена
Сергеевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2, Севастополь, 299011, Российская Федерация, ehubareva@ibss.su

Поступила в редакцию 01.02.2025 г.

Принята к публикации 12.02.2025 г.