

Научная статья
УДК 591.5:595.3
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.004

ИЗМЕНЕНИЯ ЛИТОРАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ РАЧКОВ-БАЛЯНУСОВ *SEMIBALANUS BALANOIDES* (L.) КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА И ВОСТОЧНОГО МУРМАНА В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИКЕ

Александр Владимирович Гудимов

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
alexgud@mail.ru

Аннотация

Методы ранней биоиндикации воздействия климата на морскую экосистему не известны и разрабатываются впервые. Высокая скорость изменений в популяциях литоральных усоногих рачков-балаюсов *Semibalanus balanoides* (L.) имеет ключевое значение для биоиндикации. Массовая смертность и снижение численности в течение 1–3 лет наблюдались только в эстуариях и связаны в основном с увеличением объемов половодья в период продолжающегося потепления климата в Арктике. Выживание молоди, появившейся в 2023 г. (до 8000 экз/м²), полностью зависит от дальнейших изменений климата.

Ключевые слова:

ранняя биоиндикация, изменения климата, балаюсы, смертность, молодь, Кольский залив, губа Териберская

Original article

CHANGES IN LITTORAL POPULATIONS OF *SEMIBALANUS BALANOIDES* (L.) IN KOLA BAY AND EASTERN MURMAN DURING CLIMATE WARMING IN THE ARCTIC

Alexander V. Gudimov

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
alexgud@mail.ru

Abstract

Methods for bioindication of early climate impacts in the marine ecosystem are unknown and being developed for the first time. The high rate of changes in the littoral barnacle *Semibalanus balanoides* (L.) populations is of key importance for bioindication. Mass mortality and significant decrease in the abundance over 1–3 years were observed in estuaries only and mainly associated with an increase of spring floods during the period of ongoing climate warming in the Arctic. The survival of the juveniles appeared in 2023 (up to 8000 sp/m²) fully depends on further climate changes.

Keywords:

early bioindication, climate change, barnacle, mortality, juveniles, Kola Bay, Teriberskaya Bay

Введение

Климатические изменения морских экосистем трудны для наблюдения и анализа, особенно на относительно коротких временных интервалах (1–5 лет), так как изменения биологических сообществ инертны и происходят постепенно. Мониторинг и биоиндикация текущих климатических изменений экосистем арктических морей особенно актуальны, поскольку изменения климата в Арктике порождают значительные последствия не только для России и стран Северной Европы, но и планеты в целом.

Неоднозначность и сложность немногочисленных оценок влияния климата на биологические сообщества и экосистемы арктических морей (Bivalves ..., 2009; Footprints ..., 2011; Манушин и др., 2020; Arctic ..., 2020) делают особенно актуальным разработку новых методов биомониторинга и технологии ранней биоиндикации современных климатических изменений морских экосистем Северного Ледовитого океана.

Многолетние изменения условий среды, как правило, прослеживаются в показателях видового разнообразия и структуры донных сообществ (бентоса). При этом типичные ретроспективные исследования за несколько десятилетий опираются на стандартный подход к биомониторингу

зообентоса, который представляет собой крайне трудоемкий и неоднозначный анализ давно произошедших, накопленных за несколько лет инертных изменений (параметров обилия и разнообразия видов) донных сообществ. Соответственно, относительно быстрое обнаружение текущих климатических изменений в донных сообществах стандартными методами практически невозможно.

Поэтому главный вопрос заключается в том, как обнаружить биологические последствия современных (текущих) климатических изменений, возникших за небольшой период времени (1–5 лет), и как определить, что происходящие изменения популяций и сообществ вызваны именно климатом.

Целью наших исследований была разработка метода биоиндикации ранних климатических изменений экосистемы по динамике популяций донных сообществ литоральной зоны, так как именно зообентос литорали подвергается как прямому воздействию атмосферных факторов, так и длительному экстремальному воздействию климатически обусловленных факторов водной среды.

Воздействие факторов среды многократно усиливается в эстуарных районах, находящихся под давлением опреснения (Свитина, Гудимов, 2017). При этом наиболее уязвимы седентарные донные беспозвоночные литоральной эпифауны, первыми и в наибольшей степени подвергающиеся внешним воздействиям, и потому способные быть ранними биоиндикаторами климатических изменений экосистемы.

К таким эпибионтам, доступным для круглогодичного мониторинга в полевых условиях, относится усоногий рак-баланус *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea, Cirripedia) – массовый вид донной фауны литорали северных морей.

Материал и методы

Исследованы многолетние изменения локальных популяций усоногих рачков-балаанусов *S. balanoides* в нескольких эстуарных районах Мурманского побережья: в губах и куту Кольского залива, в губе Терiberская и отчасти в губе Зеленецкая (Дальняя Зеленецкая). Мониторинг поселений балаанусов был начат в 2003 г., в дальнейшем он совпал с периодом интенсивного потепления в Баренцевом море (Трофимов и др., 2018; Dvoretzky, Dvoretzky, 2020) и затем продолжен работами береговых экспедиций ММБИ РАН в 2021–2023 гг.

В ходе проведенных работ обследованы наиболее крупные поселения балаанусов, определена численность рачков в эстуариях и уровень их смертности, оценены экологические условия обитания (соленость, температура, субстрат, загрязнение, питание).



Распределение и плотность локальных популяций *S. balanoides* на литорали Мурманского побережья определены путем подсчетов количества рачков в пробе (в рамке 10×10 см) (рис. 1) на отдельных точках маршрутов и разрезов (трансектах). Подсчет проводился на месте во время экспедиционных съемок и/или камерально по фотопробам. В каждой точке маршрута брали по 5–10 проб в скоплениях рачков на субстрате (камнях, скалах). При вычислении средней для каждой точки число рачков в пробах свыше 5 экз. округлялось до десятков из-за крайне неравномерности плотности скоплений. Высокая вариабельность распределения балаанусов в скоплениях не позволяет точно

Рис. 1. Подсчет балаанусов *S. balanoides* при помощи рамки
Fig. 1. Sample counting of the barnacles *S. balanoides* by means of a frame

определить среднюю при огромной дисперсии данных, дающей ошибку среднего до 80–98 % и более (Свити́на, Гудимов, 2017). Более точные значения средних будут получены по завершению обработки материала.

Маршруты выполнялись как вдоль литорали, так и поперек литоральных горизонтов – по разрезам. На каждом маршруте было от 2 до 6 точек отбора проб (подсчетов численности рачков) в каждой локальной популяции в зависимости от изменчивости биотопа и колебаний численности баянусов. Были также отобраны пробы воды вдоль эстуарного градиента для определения солености в биотопах баянусов и в поверхностном слое (на урезе) в отлив. Хотя накопленный за 3 года обширный материал обработан еще не полностью, первые результаты достаточно надежны. В данной работе публикуется их часть, характеризующая общие закономерности динамики исследованных популяций, связанные с воздействием климатически обусловленных факторов водной среды.

Результаты и обсуждение

По результатам мониторинга береговых экспедиций установлено, что в целом все исследуемые популяции баянуса остаются стабильны в течение 2021–2023 гг. Однако, в отдельных биотопах отмечены случаи массовой смертности молоди и в меньшей степени – баянусов среднего размерного класса (появление групп пустых домиков рачков) (табл. 1).

Таблица 1

**Первичные результаты мониторинга спата, молоди и смертности
в популяциях баянусов *S. balanoides* в эстуарных районах**

Table 1

**Estuarine areas, scope of work and initial results by monitoring of spat, juveniles and mortality
in the barnacle *S. balanoides* populations**

Район	Количество проб	Основные результаты
Кольский залив		
Губа Ретинская, ручей Ретинский	50	Осевшая молодь* отсутствует (2021 г.)**
Губа Хлебная, ручей	20	Гибель средних по размеру баянусов (пустые домики), до 100 % в русле ручья, молодь жива, малочисленна (менее 500 экз/м ²) (2023 г.)
Губа Белокаменная, р. Белокаменка	20	Гибель взрослых баянусов, около 10 % (возможно влияние взвеси из-за строительства) (2023 г.)
Мыс Еловый, р. Тулома	10	Первое за 10 лет точечное осажение молоди (более 500 экз/м ²) (2023 г.) – небольшими пятнами
Губа Вересовая, р. Тулома	10	Баянусы отсутствуют
Губа Териберская		
Устье р. Териберка, на 100 м выше от моста	40	Смертность средних и мелких < 1–3 %. Молоди мало, единично (2021 г.)
Губа Лодейная, ручей в «Мотобухте»	10	Массовая 100 %-я гибель мелких баянусов и отчасти средних (20 %) в устье ручья, участок «Мотобухты» (2023 г.)
Губа Завалишина, ручей из озера	20	Смертность старых взрослых < 3 %. Осевшей молоди мало (< 500 экз/м ²) (2022 г.)

*Осевшая молодь – это наиболее мелкая молодь (1–3 мм), пополнение этого года, осела недавно (спат) – после последнего вымета личинок.

**Указан год первого обнаружения.

В 2023 году были обнаружены первые случаи массовой смертности молоди баянусов на Восточном Мурмане – в ручье бухты Корабельная («Мотобухта», губа Териберская). Случаи массовой гибели баянусов среднего размера были выявлены в ручье губы Хлебная (Кольский залив) и в местах

близких к ручью губы Териберская («Мотобухта») (табл. 1), а также ранее отмечены в одной точке губы Зеленецкая (Дальний Пляж, 2022 г.).

Поскольку за период наблюдений 2021–2023 гг. другие случаи массовой гибели молоди и взрослых баянусов в данных популяциях не были обнаружены, то высокая смертность *S. balanoides* в 2023 г. может считаться аномальной и прежде всего в отношении скоплений взрослых рачков. При этом следует учитывать, что некоторый фоновый уровень смертности взрослых особей сохраняется всегда, даже в благоприятных условиях (Герасимова и др., 2022).

Смертность взрослых баянусов в эстуарии р. Териберка, как и в ручье губы Завалишина, все три года была незначительной. Видимо, такая величина смертности близка к уровню средней естественной (фоновой), которую можно считать нормальной, т. е. не связанной с аномальными изменениями условий среды и экстремальными внешними воздействиями.

С другой стороны, массовая элиминация молоди донных беспозвоночных и выживание лишь небольшого ее процента также является в природе естественным, обычным явлением (Connell, 1970; Герасимова и др., 2022). Однако, обнаруженное в мае 2023 г. в русле ручья «Мотобухы» (губа Териберская) очень плотное скопление недавно осевшей молоди (2–4 мм) численностью около 60000–80000 (до 150000) экз/м² к моменту подсчета имело 100 %-ю смертность – рачки легко опадали при касании, но еще не были смыты волнами и водами ручья. За три года наблюдений такое явление массовой смертности встречено впервые и, очевидно, полная и быстрая элиминация плотного скопления молоди может считаться аномальной.

В то же время малочисленность молоди и ее ограниченное осаждение в большинстве популяций баянусов, видимо, пока нельзя считать аномальным. Пополнение скоплений взрослых баянусов молодью, как и у других донных беспозвоночных (Connell, 1970; Герасимова и др., 2022), часто лимитировано доступным субстратом для осаждения личинок и их успешного роста. Поэтому в стабильных популяциях небольшое пополнение молодью является нормой. Большое и успешное осаждение возможно только на свободных участках биотопа (субстрата), находящихся в относительно благоприятных условиях.

Показательно, что наибольшее осаждение молоди обнаружено в среднем отделе среднего горизонта литорали около мыса Еловый, где основная популяция погибла (Гудимов, 2023), освободив к 2019 г. весь субстрат. Первое за 10 лет относительно плотное осаждение спата, но все еще точечное на очень небольших площадях отдельных камней, дало итоговую численность молоди от 5 до 80 экз. в пробе (до 8000 экз/м²). Молодь диаметром 2–4 мм занимала главным образом наиболее благоприятные участки субстрата на нижней части стенок камней, на уровнях наиболее близких к урезу воды литоральных ручьев и примыкающих литоральных ванн. Такое положение на субстрате давало баянусам наилучшие шансы на выживание: нивелировало влияние осушения и уменьшало воздействие эстуарного опреснения, сильно возросшего в последние два десятилетия вместе с объемом паводка северных рек (Сток ..., 2022).

Итак, во всех случаях молодь и взрослые баянусы были распределены крайне неравномерно (табл. 2). При этом их численность в эстуарных зонах была наибольшей на некотором удалении от устьев рек (Териберка, Белокаменная), но иногда была высока даже в руслах пресноводных ручьев (губа Завалишина) или по их берегам (губы Ретинская, Хлебная, Лодейная).

В эстуариях рек и ручьев как численность, так и мозаичность распределения рачков были наибольшими в среднем горизонте литорали. Например, в акватории губы Териберская на участке «Мотобухты» (бухта Корабельная, губа Лодейная) по берегам небольшого пресноводного ручья плотность взрослых баянусов в редких поселениях среднего горизонта не превышала 200 экз/м² (точка 1, рис. 2), а уже в 20 м от русла ручья (точка 2, рис. 2) достигала максимальной плотности 27000–28000 экз/м² в отдельных скоплениях на камнях (рис. 3).

Мористее на 50–100 м от устья и эстуария ручья плотность популяции уменьшалась до 5000 экз/м², в 2–5 раз снижалась вариабельность – возникал переход от эстуарной к стабильной морской популяции.

Таблица 2

**Первые результаты мониторинга численности эстуарных популяций
S. balanoides в некоторых районах Мурманского побережья в 2021–2023 гг.**

Table 2

**First results of the *S. balanoides* abundance monitoring in some estuary populations
of the Murmansk coast for 2021–2023**

Район	Координаты		Количество проб	Плотность скоплений, экз/м ²
	в. д.	с. ш.		
Кольский залив				
Губа Ретинская, ручей Ретинский	33°16'24"	69°05'56"	50	500–7000
Губа Хлебная, ручей	33°24'35"	69°04'02"	50	500–3500
Губа Белокаменная, р. Белокаменка	33°09'53"	69°05'11"	70	300–4000
Мыс Еловый, р. Тулома	32°58'04"	68°53'40"	30	50–500
Губа Вересовая, р. Тулома	33°03'54"	68°52'53"	10	Балыанусы отсутствуют
Губа Териберская				
Устье р. Териберка, на 100 м выше моста	35°07'43"	69°09'49"	40	2000–7000
Губа Лодейная, ручей в «Мотобухте»	35°10'07"	69°10'27"	30	200–27000
Губа Завалишина, ручей из озера	35°14'45"	69°10'56"	20	200–30000

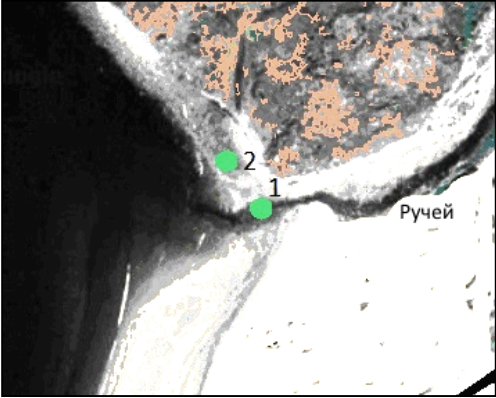


Рис. 2. Станции мониторинга поселений баянусов (точки 1 и 2) в эстуарии ручья губы Лодейная (участок «Мотобухты», Териберская губа)

Fig. 2. Position of some monitoring stations in the barnacle settlement area (green points 1 and 2) within the small stream estuary of Lodeinaya Bay («Motoharbor» area in Teriberskaya Bay)



Рис. 3. Максимальное по плотности типичное скопление баянусов *S. balanoides*

Fig. 3. The densest typical cluster of the barnacle *S. balanoides*

Из-за обычно крайней неравномерности плотности скоплений и огромной дисперсии (CV и ошибка среднего от 50 до 98 %) определение средней численности баянусов с точностью до 1 экз. не имело смысла, так как в пределах одного типичного скопления на камне плотность поселений варьирует от 2 до 400 экз. на пробу. Поэтому разница в средних численности менее чем на 200 экз./м² (2 экз. на пробу) может считаться ничтожной или случайной и не имеет какого-либо экологического значения для биоиндикации климата по состоянию и численности популяции, в том числе в поселениях очень низкой плотности (5 экз. и менее на пробу – < 500 экз./м²).

Неравномерность распределения и плотности поселений была максимальна для молодежи диаметром 2–3 мм и менее, которая не входила в подсчеты и средние численности и учитывалась отдельно (табл. 1).

Как показал опыт наших исследований (Свитина, Гудимов, 2017; Гудимов, 2023), для целей биоиндикации климата изменения средней численности только в 2–3 раза и более (на порядок) дают достоверные результаты даже при длительном сезонном и ежегодном мониторинге.

Очевидно, неравномерность и мозаичность распределения баянусов в пределах одного биотопа (участка) и одного горизонта литорали свидетельствует о сильной зависимости популяций баянусов от локального действия экологических факторов.

Было обнаружено, что на всех участках Мурманского побережья численность рачков значительно изменяется не только по горизонтам литорали («классически»), но и вдоль одного горизонта, образуя в эстуарных районах ярко выраженный экоклин – градиентное (клинальное) распределение (рис. 4), соответствующее среднему градиенту солености.

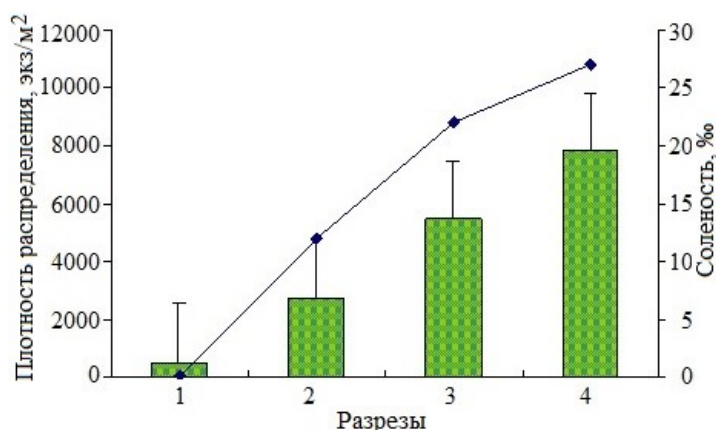


Рис. 4. Плотность распределения баянусов по разрезам литорали [нумерация – от ручья к морю; соленость от 0.5 ‰ (разрез 1) до 27 ‰ (разрез 4)] в эстуарии губы Ретинская Кольского залива

Fig. 4. Distribution of barnacles in the ecocline along littoral transects [numbering – from the stream to the sea; salinity from 0.5 ppm (section 1) to 27 ppm (section 4)] in the estuary of Retinskaya Bay, Kola Bay

В макромасштабе Кольского залива средние значения численности баянусов также показывают экоклин вслед за уменьшением солености воды от среднего колена залива к южному (Кольский ..., 2009), что характерно для экосистемы эстуарного типа, так как Кольский залив, особенно его южное колено, находится под значительным влиянием речного стока, объемы которого всегда тесно связаны с колебаниями климата (Сток ..., 2022).

Многолетний мониторинг состояния популяции баянусов в краевой зоне эстуария кута Кольского залива, начатый в 2003 г. (Свитина, Гудимов, 2017), показал неуклонное сокращение численности рачков с 2005 по 2019 гг., наиболее значительное в отдельные годы этого периода. До 2023 года эта эстуарная популяция вблизи мыса Еловый была на грани исчезновения, и в течение последних нескольких лет наблюдений не было обнаружено даже массового осаждения молодежи (рис. 5).

Первое осаждение молодежи в 2023 г., небольшими скоплениями у мыса Еловый, свидетельствует, вероятно, о некотором первичном ослаблении воздействия климатических изменений на донную

фауну Кольского залива и возможном замедлении процесса потепления в Арктике в последние два года. Очевидно, если данные условия среды обитания рачков сохраняются в определенном диапазоне благоприятных изменений, то постепенное восстановление локальной популяции баянусов *S. balanoides* это лишь вопрос времени.

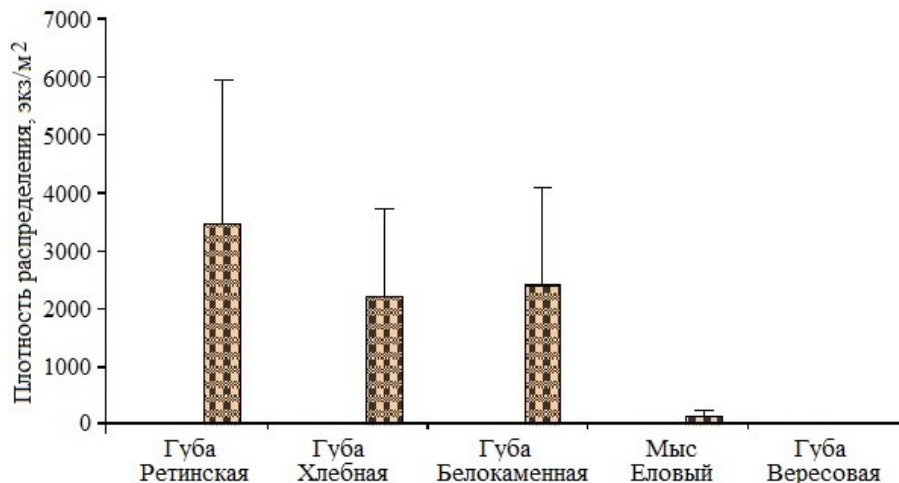


Рис. 5. Плотность распределения баянусов в губах Кольского залива в 2021–2023 гг.

Fig. 5. Average abundance of barnacles in the gulfs of Kola Bay, 2021–2023

Проверкой этого предположения будет период половодья 2024 г., воздействие которого является ключевым фактором для выживания баянусов. Именно в этот период в 2023 г. на Восточном Мурмане были обнаружены первые случаи массовой смертности молоди баянусов. Причины массовой смертности до конца не ясны, но, очевидно, они, как и в куту Кольского залива, связаны с климатом и поступлением аномальных объемов пресной воды в период снеготаяния.

Заключение

Полученные результаты могут служить базисным материалом для биомониторинга современных климатических изменений и дальнейшего изучения текущего влияния климата на экосистему Баренцева и других морей Арктики. Разрабатываемый подход к биоиндикации влияния климата по динамике популяций донных беспозвоночных литорали и выбору видов-биоиндикаторов климатических изменений позволяет выйти на новый уровень знаний об экологии, биологии и адаптивных реакциях популяций баянусов *S. balanoides* и других литоральных видов и дает важный материал к пониманию механизмов функционирования прибрежных экосистем.

Автор благодарен С. В. Малавенда за всестороннюю помощь в экспедиционной работе.

Работа выполнена по теме «Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях» (№ госрегистрации 122020900044-2) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Герасимова, А. В., Максимович Н. В., Филиппова Н. А. Выживаемость и смертность в поселениях морских двустворчатых моллюсков в условиях ненарушенной среды залива (Белое море) // Биология внутренних вод. 2022. № 6. С. 775–792. DOI: 10.31857/S0320965222060067
2. Гудимов А. В. Краевые популяции баянуса *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) как биоиндикатор влияния ранних климатических изменений среды // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 85-летию Беломорской биостанции им. Н. А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2023. С. 50–51.

3. *Кольский залив: освоение и рациональное природопользование* / Отв. ред. Г. Г. Матишов. М.: Наука, 2009. 381 с.
4. *Многолетняя динамика биомассы макрозообентоса в восточной части Баренцева моря (за период с 1924 по 2014 г.)* / И. Е. Манушин, Н. А. Стрелкова, П. А. Любин, Н. Е. Журавлева, Д. В. Захаров, В. С. Вязникова // Зоол. журн. 2020. Т. 99, № 7. С. 745–756.
5. *Свитина В. С., Гудимов А. В.* Многолетние колебания численности популяции усоногих раков *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) на эстуарной литорали кута Кольского залива // Вестн. МГТУ. 2017. Вып. 20. С. 352–362.
6. *Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений* / Н. Л. Фролова, Д. В. Магрицкий, М. Б. Киреева, В. Ю. Григорьева, А. Н. Гельфан, А. А. Сазонова, А. И. Шевченко // Водн. ресурсы. 2022. Т. 49. С. 251–269.
7. *Трофимов А. Г., Карсаков А. Л., Ившин В. А.* Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувек // Вопросы промысловой океанологии. 2018. С. 79–91 (Тр. ВНИРО. Т. 173).
8. *Arctic coastal benthos long-term responses to perturbations under climate warming* / A. K. Al-Hababeh, S. Kortsch, B. A. Bluhm, F. Beuchel, B. Gulliksen, C. Ballantine, D. Cristini, R. Primicerio // Philosophical transactions of the Royal Society: Series A, Mathematical physical and engineering sciences. 2020. Vol. 378, № 20190355. URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0355>
9. *Bivalves as indicators of environmental variation and potential anthropogenic impacts in the southern Barents Sea* / M. L. Carroll, B. J. Johnson, G. A. Henkes, K. W. McMahon, A. Voronkov, W. G. Jr. Ambrose, S. G. Denisenko // Mar. Poll. Bull. 2009. Vol. 59. P. 193–206. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.02.022
10. *Connell J. H.* A predator-prey system in the marine intertidal region. I. *Balanus glandula* and several predatory species of *Thais* // Ecol. Monographs. 1970. Vol. 40, № 1. P. 49.
11. *Dvoretsky A. G., Dvoretsky V. G.* Effects of environmental factors on the abundance, biomass, and individual weight of juvenile red king crabs in the Barents Sea // Front. Mar. Sci. 2020. Vol. 7. Article 726. P. 1–9. DOI: 10.3389/fmars.2020.00726
12. *Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem* / P. Wassmann, C. M. Duarte, S. Agusti, M. K. Sejr // Global Change Biol. 2011. № 17. P. 1235–1249. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02311>

References

1. Gerasimova A. V., Maksimovich N. V., Filippova N. A. Vyzhivayemost' i smertnost' v poseleniyakh morskikh dvustvorchatykh mollyuskov v usloviyakh nenarushennoy sredy zaliva (Beloje more) [Mortality and survival in marine bivalve beds under undisturbed environmental conditions (on example of the White Sea)]. *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of inland waters], 2022, No. 6, pp. 775–792 (In Russ.). DOI: 10.31857/S0320965222060067
2. Gudimov A. V. Krayevye populyatsii balyanusa *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) kak bioindikator vliyaniya rannikh klimaticheskikh izmeneniy sredy [Marginal populations of *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) as a bioindicator of the early climatic changes in the environment]. *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 85-letiyu Belomorskoy biostantsii imeni N. A. Pertsova Biologicheskogo fakul'teta MGU imeni M. V. Lomonosova* [Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 85th anniversary of the White Sea Biological Station named after on the N. A. Pertsov, Faculty of Biology, Moscow State University, M. V. Lomonosov], Moscow, Comrade scientific ed. KMK, 2023, pp. 50–51 (In Russ.).
3. *Kol'skiy zaliv: osvoyenie i ratsional'noe prirodoopol'zovanie* [Kola Bay: development and rational use of natural resources]. Moscow, Nauka, 2009. 381 p. (In Russ.).
4. Manushin I. Ye., Strelkova N. A., Lyubin P. A., Zhuravlyeva N. Ye., Zakharov D. V., Vyaznikova V. S. *Mnogoletnyaya dinamika biomassy makrozoobentosa v vostochnoy chasti Barentseva morya (za period s*

- 1924 по 2014 г.) [Long-term dynamics of macrozoobenthos biomass in the Eastern Barents Sea in 1924–2014]. *Zoologicheskiy zhurnal* [Zoological Journal], 2020, Vol. 99, No. 7, pp. 745–756 (In Russ.).
5. Svitina V. S., Gudimov A. V. Mnogoletnie kolebaniya chislennosti populyatsii usonogikh rakov *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) na estuarnoy litorali kuta Kol'skogo zaliva [Long-term fluctuations in population of barnacle *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) in the estuarine zone of the Kola Bay]. *Vestnik MGTU* [Bulletin of Murmansk State Technical University], 2017, Vol. 20, pp. 352–362 (In Russ.).
 6. Frolova N. L., Magritskiy D. V., Kireeva M. B., Grigor'eva V. YU., Gel'fan A. N., Sazonova A. A., Shevchenko A. I. Stok rek Rossii pri proiskhodyashchikh i prognoziruemykh izmeneniyakh klimata: obzor publikatsiy. 1. Otsenka izmeneniy vodnogo rezhima rek Rossii po dannym nablyudeniya [River flow in Russia under current and predicted climate changes: review of publications. 1. Assessment of changes in the water regime of Russian rivers based on observational data]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2022, Vol. 49, pp. 251–269 (In Russ.).
 7. Trofimov A. G., Karsakov A. L., Ivshin V. A. Izmeneniya klimata v Barentsevom more na protyazhenii poslednego poluveka [Climate changes in the Barents Sea over the last half century]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of the VNIRO], 2018, Vol. 173, pp. 79–91 (In Russ.).
 8. Al-Hababeh A. K., Kortsch S., Bluhm B. A., Beuchel F., Gulliksen B., Ballantine C., Cristini D., Primicerio R. Arctic coastal benthos long-term responses to perturbations under climate warming. *Philosophical transactions of the Royal Society: Series A, Mathematical physical and engineering sciences*, 2020, Vol. 378, No. 20190355. Available at: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0355>
 9. Carroll M. L., Johnson B. J., Henkes G. A., McMahon K. W., Voronkov A., Ambrose W. G. Jr., Denisenko S. G. Bivalves as indicators of environmental variation and potential anthropogenic impacts in the southern Barents Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 2009, Vol. 59, pp. 193–206. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.02.022
 10. Connell J. H. A predator-prey system in the marine intertidal region. I. *Balanus glandula* and several predatory species of *Thais*. *Ecol. Monographs*, 1970, Vol. 40, No. 1, p. 49.
 11. Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Effects of environmental factors on the abundance, biomass, and individual weight of juvenile red king crabs in the Barents Sea. *Front. Mar. Sci.*, 2020, Vol. 7, Article 726, pp. 1–9. DOI: 10.3389/fmars.2020.00726
 12. Wassmann P., Duarte C. M., Agusti S., Sejr M. K. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global Change Biol.*, 2011, No. 17, pp. 1235–1249. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02311>

Информация об авторе

Александр Владимирович Гудимов – ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-2365-1503>

Information about the author

Alexander V. Gudimov – Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-2365-1503>

Статья поступила в редакцию 27.04.2024; одобрена после рецензирования 14.05.2024; принята к публикации 21.05.2024.
The article was submitted 27.04.2024; approved after reviewing 14.05.2024; accepted for publication 21.05.2024.