

УДК 551.46:574.5:594(262.54)
DOI 10.17513/use.38407

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ДИНАМИКУ РАЗМЕРНОГО РЯДА И БИОМАССЫ
ПОПУЛЯЦИИ ИНВАЗИВНОГО МОЛЛЮСКА *ANADARA*
KAGOSHIMENSIS (TOKUNAGA, 1906) В АЗОВСКОМ МОРЕ**

**Волощук М.С., Картамышева Т.Б., Шевцова Е.А.,
Жукова С.В., Подмарева Т.И., Елфимова Н.С.**

*Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии», Ростов-на-Дону, e-mail: mixail.voloshhuk@gmail.com*

На фоне ускоряющихся геозокологических изменений акватории Азовского моря, воздействующих на прибрежные экосистемы, изучение факторов, влияющих на жизнеспособность и пространственно-временную организацию инвазивных видов, приобретает особую актуальность. В представленной работе проведен комплексный анализ влияния трех ключевых абиотических факторов: солености, температуры и кислородного режима – на размерный ряд и биомассу инвазивного двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в Азовском море. Обсуждаются механизмы осморегуляции и гипоксической толерантности *A. kagoshimensis*, а также сезонные и климатические модификации абиотических условий. Исследование сочетает полевые наблюдения с элементами статистического анализа, что позволяет не только выявить корреляционные зависимости, но и наметить возможные физиологические механизмы адаптации вида к изменяющимся условиям среды. При использовании данных гидробиологических съемок за 2022–2024 гг., авторами было установлено, что повышение солености является ключевым фактором, оказывающим наиболее выраженное влияние на рост, развитие и накопление биомассы вида. Особое внимание уделено адаптации вида к условиям Азовского моря, включая устойчивость к низкому содержанию кислорода и репродуктивный успех. Результаты подчеркивают комплексное взаимодействие экологических факторов, определяющих размерный ряд *Anadara kagoshimensis*, и имеют значение для прогнозирования динамики популяции этого инвазивного вида в условиях изменяющейся экосистемы.

Ключевые слова: *Anadara kagoshimensis*, Азовское море, экологические факторы, соленость, температура, кислородный режим, размерный ряд, инвазивный вид

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ABIOTIC FACTORS
ON THE DYNAMICS OF SIZE RANGE AND BIOMASS
OF THE INVASIVE MOLLUSK *ANADARA KAGOSHIMENSIS*
(TOKUNAGA, 1906) IN THE SEA OF AZOV**

**Voloshchuk M.S., Kartamysheva T.B., Shevtsova E.A.,
Zhukova S.V., Podmareva T.I., Elfimova N.S.**

*Azov-Black Sea Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Rostov-on-Don, e-mail: mixail.voloshhuk@gmail.com*

Against the backdrop of accelerating geological and ecological changes in the *Sea of Azov* waters, which are impacting coastal ecosystems, research into factors affecting the viability and spatial-temporal organization of invasive species has become particularly relevant. This study provides a comprehensive analysis of three key abiotic factors – salinity, temperature and oxygen regime – on the size and biomass range of the invasive bivalve mollusc *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) in the *Sea of Azov*. It discusses the mechanisms of osmoregulation and hypoxia tolerance of *kagoshimensis* as well as seasonal and climate-related variations in abiotic conditions. The study combines field observations with statistical analysis, allowing not only to identify correlations but also to delineate possible physiological mechanisms for the species' adaptation to changing environmental circumstances. Using data of hydrobiological surveys conducted between 2022 and 2024, the study found that increased salinity was a significant factor with the most pronounced impact on the growth, development, and biomass accumulation of the species under study. Special attention was paid to how the species adapts to the conditions of the *Sea of Azov*, including its resistance to low oxygen levels and reproductive success. The findings emphasize the complex interplay of environmental factors that influence the size range of *Anadara kagoshimensis* and are crucial for predicting population trends of this invasive species within a changing ecosystem.

Keywords: *Anadara kagoshimensis*, *Sea of Azov*, environmental factors, salinity, temperature, oxygen regime, size range, invasive species

Введение

В последние десятилетия инвазивный двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis* распространился от ареалов

западной части Тихого океана в прибрежные воды Черного и Азовского морей, существенно трансформируя бентосные сообщества и конкурентные взаимодействия

[1]. Азовское море с его мелководным характером, выраженными градиентами солености (5–16‰), сезонными колебаниями температуры (3–28 °C) и периодическими эпизодами гипоксии представляет собой уникальную природно-географическую лабораторию для изучения адаптивных реакций инвазивных видов. В то время как ряд работ подчеркивает важность температурного и кислородного стрессов для физиологии моллюсков, наши предварительные данные свидетельствуют о доминирующей роли соленостных градиентов в формировании размерного ряда и биомассы *A. kagoshimensis* на разных участках Азовского моря.

Соленость воды – один из ключевых экологических факторов, который оказывает значительное влияние на рост и развитие моллюска *Anadara kagoshimensis* в Азовском море. Этот вид, известный своей эвригалинностью (способностью переносить широкий диапазон солености), все же имеет оптимальные условия, при которых он достигает максимальных размеров [2].

Соленость напрямую влияет на физиологические процессы моллюска, особенно на осморегуляцию – поддержание водно-солевого баланса в организме. *Anadara kagoshimensis* происходит из регионов с высокой соленостью, таких как Японское море, где она составляет 30–35 ‰. В Азовском море исторически соленость была значительно ниже – около 10–12 ‰, что создавало менее благоприятные условия для этого вида и может быть лимитирующим фактором для роста и развития данного вида моллюска [3].

При низкой солености (например, 10–12‰) моллюски тратят больше энергии на осморегуляцию, чтобы компенсировать разницу между внутренней средой организма и окружающей водой. Это снижает количество энергии, доступной для роста, что приводит к замедлению развития и уменьшению размеров особей.

При высоком показателе солености затраты на осморегуляцию уменьшаются. Энергия, которая раньше уходила на поддержание баланса, направляется на рост и развитие, что позволяет моллюскам достигать больших размеров.

Авторами отмечено, что соленость влияет не только на рост взрослых особей, но и на репродуктивный успех, что косвенно сказывается на размерах популяции. Оптимальная соленость улучшает выживаемость личинок и их развитие.

При благоприятной солености (ближе к 30 ‰) личинки развиваются быстрее, а потери среди них сокращаются. Это увеличивает численность популяции, снижает конкуренцию за пищу и пространство, что позволяет выжившим особям становиться крупнее.

При неоптимальной солености выживаемость личинок падает, численность популяции уменьшается, а конкуренция за ресурсы возрастает. В таких условиях рост особей ограничивается, и они остаются мелочь.

Поскольку *Anadara kagoshimensis* – инвазивный вид, соответственно, и его популяция постепенно адаптируется к местным условиям. Этот процесс включает изменения в физиологии, такие как улучшение механизмов осморегуляции, что позволяет моллюскам эффективнее справляться с неидеальной соленостью. Со временем адаптация может привести к увеличению размеров особей даже в условиях, отличающихся от родных (30–35 ‰). Однако на начальных стадиях инвазии размеры моллюсков в Азовском море были меньше, чем в Японском море, что связано с периодом привыкания к новым условиям [2].

Температура воды – также один из ключевых факторов, определяющих рост и размер моллюска *Anadara kagoshimensis* в Азовском море. Анадара, адаптируясь к местным условиям, демонстрирует четкую зависимость своих физиологических процессов и жизненного цикла от температуры окружающей среды.

Температура напрямую влияет на метаболизм *Anadara kagoshimensis*, так как этот моллюск является пойкилотермным организмом – его внутренняя температура зависит от температуры воды. Это определяет скорость всех биохимических реакций в его теле, включая питание, дыхание и рост [3].

Оптимальная температура (15–25 °C): В этом диапазоне метаболизм моллюска работает наиболее эффективно. Он активно фильтрует воду, усваивает пищу и наращивает биомассу, что позволяет ему быстро расти и достигать больших размеров.

Низкая температура (ниже 10 °C): При таких значениях метаболизм замедляется, что снижает скорость роста. Моллюски в таких условиях растут медленнее и часто остаются меньшими по размеру.

Высокая температура (выше 28 °C): Чрезмерное тепло ускоряет метаболизм, однако вызывает стресс. Длительное воздействие высоких температур может привести к тепловому шоку, замедлению роста

или даже гибели, что ограничивает размеры особей.

Будучи инвазивным видом, *Anadara kagoshimensis* обладает широким диапазоном температурной толерантности (5–28 °C) – данная особенность позволяет ему выживать в Азовском море с его резкими сезонными колебаниями. Тем не менее для достижения максимальных размеров необходимы продолжительные периоды с температурой в оптимальном диапазоне (15–25 °C). Со временем популяция может адаптироваться к местным условиям, что потенциально способствует увеличению размеров особей [3].

Если говорить о влиянии кислородного режима, *Anadara kagoshimensis*, вероятно, использует анаэробный метаболизм для выживания в условиях низкого кислорода, как показано в исследованиях метаболических реакций родственных видов, таких как *Anadara inaequalis* [4]. Важно отметить, что Азовское море характеризуется мелководностью и ограниченной водообменностью, что делает его уязвимым к гипоксическим условиям, особенно в летние месяцы [5]. Однако анадара демонстрирует высокую устойчивость к низким уровням кислорода благодаря наличию гемоглобина в крови, что позволяет эффективно транспортировать кислород даже в условиях гипоксии. Исследования показали, что этот моллюск способен переходить от аэробного к анаэробному метаболизму без значительного ущерба для жизнедеятельности [6].

В условиях 14-дневного голодания и различных уровней кислорода *Anadara kagoshimensis* показал способность увеличивать скорость дыхания на 35–55%, что свидетельствует об активации окислительных процессов в организме [7]. Благодаря своей устойчивости к гипоксии, *Anadara kagoshimensis* может успешно колонизировать зоны с низким содержанием кислорода, где другие виды испытывают стресс или погибают [8]. Это приводит к изменению структуры бентосных сообществ и может оказывать влияние на пищевые цепи и общее состояние экосистемы Азовского моря [1].

Цель исследования – оценка влияния абиотических факторов (солёности, температуры и кислородного режима) на динамику размерного ряда и биомассы популяции инвазивного моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в Азовском море.

Материалы и методы исследования

В основу исследования легли данные гидробиологических исследований Азовского

моря, проведенных Азово-Черноморским филиалом ФГБУН «ВНИРО» – «АзНИИРХ» с 2022 по 2024 г. Сетка гидробиологических съемок представлена на рисунке.

Для сравнения полученных данных биомассы и размерного ряда анадары с абиотическими факторами, такими как солёность, температура вод и показатель растворенного кислорода, авторами использовался коэффициент корреляции Спирмена [10]. В рамках исследования было изучено 89 проб бентоса. Расположение станций отбора проб представлено на рисунке.

Первичная обработка проб выполнялась непосредственно на борту исследовательского судна. Промывание бентоса осуществлялось с использованием сит с размерами ячеек 5 мм (верхнее сито) и 0,3 мм (нижнее сито). После промывания остатки с обоих сит фиксировались в 75 %-ном растворе этилового спирта. Камеральная обработка проб проводилась с использованием бинокулярного микроскопа. Для построения размерных рядов моллюсков применялся шаг в 1 мм [9].

Результаты исследования и их обсуждение

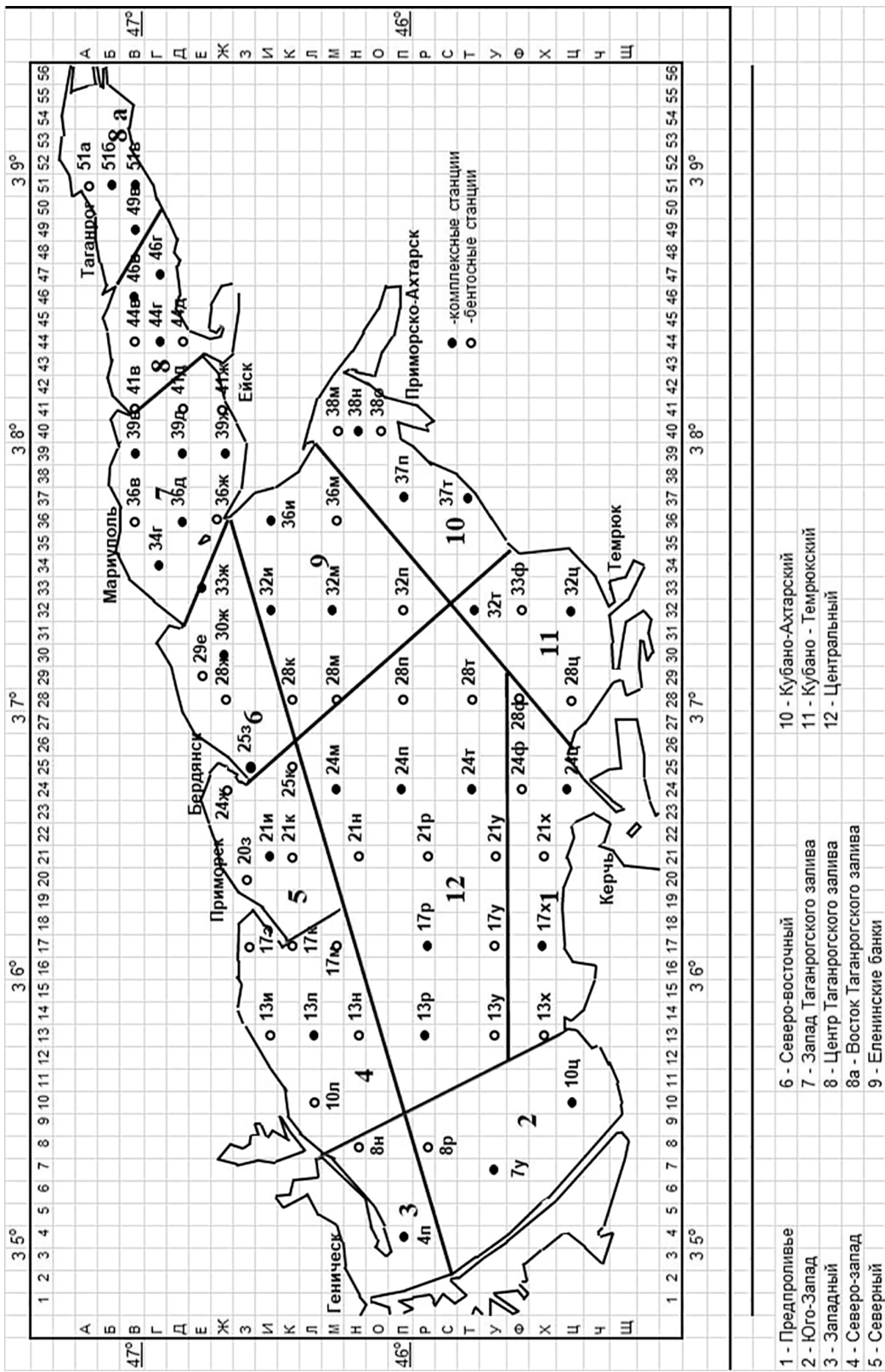
Согласно представленным в табл. 1 данным, во всех наблюдаемых периодах наибольший показатель солёности зарегистрирован в районе Керченского пролива, а также в юго-западной акватории Азовского моря, поскольку в упомянутых зонах происходит адвекция вод Черного моря [11].

В табл. 2 представлен показатель растворенного кислорода в Азовском море в период с 2022 по 2024 г.

Средний показатель O_2 в водах Азовского моря за наблюдаемый трехлетний период составлял 6,86–8,06 мг/л в зависимости от района акватории. Установлено, что идеальный уровень растворенного кислорода для развития *Anadara kagoshimensis* составляет 6–8 мг/л [12].

Однако кратковременная гипоксия (ниже 2 мг/л) может вызывать стресс, а длительная гипоксия приводит к массовой смертности.

Показатель растворенного O_2 по станциям и общее среднее 7,24 мг/л в целом обеспечили оптимальную среду для роста и размножения анадары. Однако были зафиксированы временные снижения показателя растворенного кислорода ниже 5 мг/л на некоторых станциях – в 2023 г. на станции 11 и в 2024 г. на станции 10.



Сетка гидробиологических съемок «АзНИИРХ» в Азовском море
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Таблица 1

Показатель солености в Азовском море за 2022–2024 гг., ‰

Год	Районы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	8а	9	10	11	12
2022	15,84	15,35	15,11	14,79	14,35	13,81	12,18	8,03	5,49	8,03	5,49	14,30	13,28
2023	15,39	15,24	15,26	15,19	15,22	14,44	12,54	7,65	4,21	7,65	4,21	15,08	14,17
2024	15,43	14,99	14,95	14,92	14,81	14,54	12,74	8,77	6,00	8,77	6,00	14,61	14,47

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

Таблица 2

Показатель растворенного кислорода в акватории Азовского моря за 2022–2024 гг., мг/л

Год	Районы											
	1	2	3	4	5	6	7	8a	9	10	11	12
2022	7,8	7,8	8,6	6,2	7,0	9,0	7,4	8,3	7,4	7,9	7,8	6,1
2023	7,1	6,6	7,2	6,7	7,1	7,4	7,6	7,6	7,1	6,6	4,7	6,9
2024	7,0	7,4	8,4	7,7	8,1	6,3	8,3	7,7	5,8	4,9	7,0	6,9
Средн.	7,3	7,2	8,1	6,9	7,6	7,6	7,7	7,9	6,8	6,5	6,5	6,6

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

Таблица 3

Среднегодовой показатель температурного режима в Азовском море за 2022–2024 гг., °C

Год	Районы												
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	8	8а
2022	20,5	19,8	19,75	19,56	19,5	20,9	20,9	20,8	22,2	22,9	20,6	19,7	19,2
2023	22,4	22,5	21,8	21,5	21,4	21,1	19,9	20,9	19,9	20,7	21,5	20,3	20,2
2024	21,5	21,7	21,7	22,1	21,6	20,3	19,6	19,4	19,4	20,1	20,6	20,8	21,6

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

Среднегодовые показатели температурного режима воды по районам наблюдений, важные для анализа температурной адаптации и метаболической активности *Anadara kagoshimensis*, представлены в табл. 3.

Нативный ареал обитания *Anadara kagoshimensis* охватывает умеренные воды западной части Тихого океана, включая прибрежные районы Японии, Южной Кореи и Китая. Согласно доступным данным, температура воды в этих регионах варьируется в зависимости от сезона [12]. В зимний период температура может опускаться до 3–8 °C, что характерно для таких мест, как залив Йоджа в Южной Корее. Летом температура поднимается до 23–28 °C. В межсезонье (весна и осень) температура

составляет около 13–18 °C. Оптимальный диапазон для ее роста и размножения, скорее всего, находится в пределах 15–25 °C, так как при максимальных летних температурах (28 °C) моллюск может испытывать физиологический стресс [3].

Среднегодовое значение температуры по всем наблюдаемым станциям варьируется в диапазоне 19,4–21,7 °C, что соответствует оптимальному режиму для роста и развития данного вида моллюска.

В табл. 4 приведены данные по биомассе *Anadara kagoshimensis* в различных частях Азовского моря за 2022–2024 гг., что отражает пространственную и временную динамику накопления биомассы популяцией вида.

Таблица 4

Биомасса анадары в Азовском море за 2022–2024 гг., г/м²

Год	Районы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	8а	9	10	11	12
2022	12102,3	10080,4	—	—	—	375,8	149,2	—	—	594,9	1531,8	1108,0	8454,9
2023	7059,3	1920,2	1410,1	812,9	1747,8	2666,8	128,2	—	—	61,3	773,0	1729,4	11585,1
2024	5675,0	3859,7	2431,7	1653,4	98,5	24,9	—	—	—	221,2	1020,8	1147,6	3615,7

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

Таблица 5

Количественные показатели размерных рядов анадары в Азовском море, экз./м²

Год	Размерный ряд, мм	Количество по районам, экз./м²												
		1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	8	8а
2022	От 3 до 5	–	285	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	От 6 до 10	–	130	–	–	–	–	–	–	10	280	210	–	–
	Больше 11	3970	3920	–	–	–	850	25	915	5	1810	2680	–	–
2023	От 3 до 5	–	200	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	От 6 до 10	10	280	–	–	–	440	–	–	–	–	–	–	–
	Больше 11	3120	2160	1080	480	360	2490	5	25	45	970	2510	–	–
2024	От 3 до 5	200	310	–	–	130	–	–	–	–	–	310	–	–
	От 6 до 10	1360	–	–	–	315	–	–	–	–	–	–	–	–
	Больше 11	1745	20	1280	580	15	–	–	80	31	320	760	–	–

Источник: составлено авторами по результатам данного исследования.

В 2022–2024 гг. в западной части Азовского моря (районы 9–12) соленость ниже (5–8‰), а в центрально-восточных районах (3–7) она выше (12–15‰). Максимальная биомасса анадары наблюдается в районах с наибольшим показателем солености: в центре, на востоке, а также на юге, в районе Керченского пролива, соленость ~14–16 ‰ соответствует оптимуму – здесь наблюдались наибольшие показатели биомассы. В западной же части (районах 6, 7) соленость стремилась к нижнему пределу выживания, поэтому биомасса анадары снижена.

Данные, представленные в табл. 5, демонстрируют количественные характеристики размерных рядов особей анадары по районам, что позволяет оценить распределение размеров в зависимости от условий окружающей среды.

В Керченском проливе (район 1) и на западных участках (районы 2 и 3) накоплены

максимальные концентрации крупного размера моллюска (более 11 мм). Так, в 2022 г. плотность крупных (более 11 мм) особей в районе 1 достигала 3970 экз./м², в районе 2 – 3920 экз./м², тогда как в центральном районе 12 – 2680 экз./м².

В 2023 г. аналогичное явление: 3120 и 2160 экз./м² в районах 1 и 2 против 2510 экз./м² в районе 12.

В 2024 г. наблюдалось общее снижение, но все же наивысшие показатели по-прежнему наблюдались в районе 1 (1745 экз./м²) и западных участках (район 3 – 1280 экз./м²), при более скромном показателе в районе 12 (760 экз./м²).

Полученные результаты подчеркнули ключевую роль солености как фактора, ограничивающего рост и численность *Anadara kagoshimensis* в Азовском море. Данные, представленные в табл. 4 и 5, показали высокие значения биомассы, и преобладание крупных особей отмечено именно

в центрально-восточных и южных районах с соленостью ~14–16 ‰, тогда как в западных районах (соленость < 10 ‰) биомасса резко снижена.

Как инвазивному виду, анадаре присуща высокая толерантность к экологическим стрессам [13]. Вид обладает эвригалинным осморегуляторным аппаратом и устойчив к кратковременным гипоксическим условиям. Представленные в табл. 2 средние показатели растворенного кислорода в изученных районах (~6,5–8,3 мг/л) попали в оптимальный диапазон (6–8 мг/л) для роста анадары. Хотя эпизоды понижения кислорода до ~4–5 мг/л фиксировались (например, в 2023 г. на станции 11), массовой гибели не наблюдалось. Данное наблюдение подтвердило способность вида выдерживать периодические стрессовые фазы (гипоксию), сохраняя выживаемость. Кроме того, биологические особенности (например, высокая плодовитость, быстрая адаптация на генетическом уровне) позволили *Anadara kagoshimensis* эффективно колонизировать новые территории при относительно неблагоприятных условиях [14].

На соленость и кислородный режим Азовского моря значимо повлияли климатические процессы. Весной усиленный сток р. Дон снижал соленость, особенно в северо-восточных районах, создавая пространственные градиенты (исток – опреснение), что сдерживало распространение анадары в этих зонах [15, с. 57]. Летом высокие температуры и слабые ветры способствовали стратификации, что привело к снижению кислорода в придонных слоях и ограничило жизнедеятельность бентоса. В осенне-зимний период перемешивание вод улучшило кислородный режим и распределило соленость по акватории, что могло временно улучшать условия для роста моллюсков. С учетом глобальных климатических трендов (усиление циклонной активности, изменение осадков) эти сезонные колебания могут усиливаться или изменяться, что делает прогнозирование динамики популяции особо актуальным [16].

Коэффициенты корреляции показателя солености и количественного показателя анадары во всех трех годах положительны: в 2022 г. обнаружена относительно высокая (умеренная) корреляция (0,62; $\rho \approx 0,69$), в 2023 г. она несколько слабее (0,59; $\rho \approx 0,59$), а в 2024 г. связь выражена значительно слабее (0,36; $\rho \approx 0,33$) [10]. Положительная корреляция указывает на прямую взаимосвязь между соленостью и численностью анада-

ры – с ростом солености наблюдается тенденция к увеличению численности крупно-размерных моллюсков данного вида.

Показатели температурного режима в анализируемые годы, продемонстрированные в табл. 3, находились в пределах, оптимальных для роста и размножения *Anadara kagoshimensis*, поэтому они не могут рассматриваться как лимитирующие факторы в этих районах.

В целом результаты работы показали, что соленость является лимитирующим фактором для роста и накопления биомассы *Anadara kagoshimensis* в Азовском море (влияние которого существенно преобладает над умеренными изменениями температуры и кислородного режима).

Выводы

В ходе исследования влияния абиотических факторов – в первую очередь солености, температуры и уровня растворенного кислорода – на размерный ряд и биомассу инвазивного моллюска *Anadara kagoshimensis* в Азовском море были получены следующие ключевые результаты.

– Соленость оказалась решающим фактором роста и развития анадары. В районах с более высокой среднегодовой соленостью (~14–16 ‰) средняя биомасса достигала 5000–12000 г/м², количественные показатели крупных моллюсков также были максимальными именно в данных областях.

– Температурный режим в диапазоне 19,4–21,7 °С в большинстве районов соответствовал оптимальному для метаболизма вида (15–25 °С). Длительные периоды высоких температур (> 28 °С) не фиксировались, что благоприятствовало устойчивому росту.

– Кислородный режим (6,86–8,06 мг/л) в целом обеспечил нормальное развитие моллюска, однако единичные эпизоды снижения ниже 5 мг/л (станции 11 и 10) вызвали физиологический стресс без значительной смертности.

– Климатические факторы – сезонные ветры и осадки модифицировали соленость и кислородный баланс: весенний речной сток снизил соленость в северо-восточной части, летняя стратификация уменьшила аэрацию придонных слоев, а осенне-зимние ветровые бури поспособствовали перемешиванию и насыщению кислородом.

Полученные результаты важны для прогноза динамики популяции *A. kagoshimensis* и разработки мер управления инвазивным видом. В частности, мониторинг солености и кислородного режима в сочетании с уче-

том сезонных климатических воздействий позволит точнее предсказывать рост и расселение моллюска. Учитывая, что анадара обладает потенциалом к формированию значительной биомассы, данные о ее экологических предпочтениях могут быть использованы при оценке биоресурсного потенциала отдельных районов Азовского моря.

Список литературы

1. Живоглядова Л.А., Ревков Н.К., Фроленко Л.Н., Афанасьев Д.Ф. Экспансия двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в Азовском море // Российский журнал биологических инвазий. 2021. Т. 14. № 1. С. 83–94. DOI: 10.35885/1996-1499-2021-14-1-83-94.
2. Кухарева Т.А., Рычкова В.Н., Солдатов А.А., Андреева А.Ю., Кладченко Е.С. Адаптация *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) к гипо- и гиперосмотическим условиям среды: реакция гемоцитов // Российский журнал биологических инвазий. 2023. Т. 16. № 3. С. 117–125. DOI: 10.35885/1996-1499-16-3-117-125.
3. Ревков Н.К., Щербань С.А. Особенности биологии двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* в Черном море // Экосистемы. 2017. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-biologii-dvustvorchatogo-mollyuska-anadara-kagoshimensis-v-chernom-more> (дата обращения: 27.04.2025).
4. Kang H.Y., Seong J., Kim C., Lee B.G., Lee I.T., Kang C.K. Seasonal energetic physiology in the ark shell *Anadara kagoshimensis* in response to rising temperature // Frontiers in Marine Science. 2022. Vol. 9. P. 01–19. DOI: 10.3389/fmars.2022.981504.
5. Кладченко Е.С. Влияние гипоосмотического стресса на состав гемолимфы *Anadara kagoshimensis* // Российский журнал биологических инвазий. 2021. № 1. С. 44–52. DOI: 10.35885/1996-1499-2021-14-1-95-106.
6. Волкова Т.А. Биогенные факторы и их роль в формировании береговой зоны Азовского Моря // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. 2020. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biogennye-factory-i-ih-rol-v-formirovani-beregovoy-zony-azovskogo-morya> (дата обращения: 28.04.2025).
7. Vialova O.Y., Stolbov A.Y. Respiration of Invasive Bivalve *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) at 14-Days Starvation and Different Oxygen Content in Sea Water // Journal of Shellfish Research. 2022. Vol. 3. P. 487–494. DOI: 10.2983/035.041.0305.
8. Kolyuchkina G.A., Syomin V.L., Simakova U.V. Benthic community structure near the margin of the oxic zone: A case study on the Black Sea // Journal of Sea Research. 2022. Vol. 227. P. 01–17. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2021.103691.
9. Воловик С.П., Корпакова И.Г. Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне: Сборник научно-методических работ. Краснодар: ФГУП «АзНИИРХ», 2005. 352 с.
10. Hammer O. Paleontological Statistics, Version 2.17. Reference Manual. Natural History Museum, university of Oslo. 2012. 229 p.
11. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Новое состояние гидрологического режима Азовского моря в XXI веке // Доклады российской академии наук. Науки о земле. 2023. № 1. С. 22–30. DOI: 10.31857/S2686739722030057.
12. Kim H., Hirose N., Takayama K. Physical and biological factors underlying long-term decline of dissolved oxygen concentration in the East/Japan Sea // Frontiers in Marine Science. 2022. Vol. 9. P. 01–17. DOI: 10.3389/fmars.2022.851598.
13. Wang Q., Liu Y., Li J., Xie X., Zhang Y. Effects of temperature and salinity on survival and growth of juvenile ark shell *Anadara broughtonii* // Fisheries Science. 2017. Vol. 83. № 4. P. 581–589. DOI: 10.1007/s12562-017-1095-4.
14. Ларина С.А. Содержание химических элементов в тканях и раковинах *Anadara kagoshimensis* из Черного и Азовского морей // Морской биологический журнал. 2024. Т. 9. № 1. С. 73–83. DOI: 10.21072/mbj.2024.09.3.03.
15. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. Основы реконструкции. М.: Наука, 1980. 271 с. ISBN: 5-818-30110-9.
16. Янина Т.А. Динамика природной среды Азовского моря в условиях последнего климатического макроцикла // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 12. С. 1136–1144. DOI: 10.31857/S0869587323120113.