

УДК 574.3:591.11 (265.54)

ПОПУЛЯЦИЯ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ СРЕДЫ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2019 г. А. В. Силина

Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН,
Институт биологии моря, Владивосток, Россия
e-mail: allasilina@mail.ru

Поступила в редакцию 10.08.2016 г.

После доработки 28.12.2016 г.

В районе исследования, месте промышленных и бытовых сточных вод в Амурский залив у берегов Владивостока, за 1981–2016 гг. выделяются три основных этапа изменения состояния популяции гребешка и сообщества эндо- и эпибиоза его раковины. На первом этапе, до начала 90-х, снижались скорость роста и продолжительность жизни гребешков, но повышались смертность и степень биоэрозии раковин гребешков. Этот этап соответствовал периоду интенсификации антропогенного загрязнения залива. Далее, в переходный период, в середине 90-х, снижение темпов роста гребешка прекратилось. В этот период уменьшилось загрязнение среды в связи со снижением объема сброса загрязненных вод из-за падения промышленного производства. На втором этапе, длившийся до середины 2000-х, повысилась скорость роста гребешка, а степени биоэрозии и обилия эпибиоза раковины снизились. Это время постепенного очищения залива. Позднее, на третьем этапе, и до настоящего времени наблюдается период нового снижения показателей роста гребешков. В этот период повысилась эвтрофикация воды и произошло снижение насыщенности воды кислородом. Наиболее это заметно при периодических повышении температуры воды, связанных с двухлетними и 7–8-летними циклическими колебаниями. Браконьерство стало одним из негативных антропогенных факторов, повлекших за собой существенное снижение плотности поселения гребешка.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, *Mizuhopecten yessoensis*, рост, загрязнение среды, биоэрозия раковины

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0030-15745982-92>

ВВЕДЕНИЕ

Амурский залив расположен в северо-западной части залива Петра Великого Японского моря. Он условно разделен на две части Муравьевским порогом, простирающимся от южных берегов мыса Песчаного до о-ва Русский. Северная сравнительно мелководная часть залива, примерно 1/3 его общей акватории, наиболее подвержена антропогенному воздействию. Здесь основные источники загрязнения — бытовые и промышленные сточные воды г. Владивостока, крупнейшего порта на Дальнем Востоке, и сток реки Раздольной. Эта река кроме терригенных стоков и стоков с сельскохозяйственных угодий, располагающихся на территории водосбора, выносит коммунальные и производственные выбросы г. Уссурийска и

быстроразвивающегося г. Суйфэньхе (Китай). Наибольшую нагрузку от поступления многокомпонентной смеси загрязняющих веществ минерального и органического происхождения испытывают северо-восточная прибрежная зона у Владивостока и приустьевая зона северной части залива [2, 6]. По экспертным оценкам, вместе со сточными водами в Амурский залив в течение, например, 2000 г. поступило около 44 643 т загрязняющих веществ 28 наименований [6]. Попадая в прибрежные воды залива, загрязняющие вещества оказывают влияние на прибрежную экосистему. Они распространяются по акватории, но в большей степени постепенно осаждаются и накапливаются в донных осадках, наиболее близко расположенных к источникам поступления поллютантов. Кроме того, наблюдается обогащение донных отложений мелко-

дисперсными неорганическими частицами и органическими веществами [22]. Бентосные организмы попадают в особенно неблагоприятные условия из-за дефицита кислорода в придонном слое воды, обусловленном расходом растворенного кислорода на окисление органических соединений [10].

Вследствие неоднократных изменений интенсивности и характера хозяйственной деятельности человека уровень антропогенного загрязнения Амурского залива претерпевает многолетние колебания. Так, до 90-х годов наблюдалось усиление загрязнения залива нефтеуглеводородами, тяжелыми металлами, пестицидами, органическими и другими загрязнениями, т.к. развитие хозяйственной деятельности в период с 60-х по 90-е годы не сопровождалось строительством эффективных очистных сооружений. Позднее, из-за значительного снижения промышленного производства и сельскохозяйственной деятельности в России загрязнение прибрежных акваторий снизилось. Однако в некоторых районах залива, например у мест выпуска неочищенных вод Владивостока, наблюдается хроническое загрязнение [4, 6]. Таким образом, экосистема Амурского залива постоянно подвергается изменениям в уровне загрязнения воды и грунта.

Кроме того, на развитие биоты влияют и естественные изменения абиотических факторов среды под воздействием глобальных и мелкомасштабных природных процессов. Отдельные показатели факторов среды могут изменяться однонаправленно, имея тенденцию к повышению или понижению. Например, известно, что в Амурском заливе за последние 50 лет среднегодовая температура поверхностного слоя воды повысилась на 1.7 °C [1, 13]. Кроме того, установлены и многолетние периодические колебания показателей факторов среды, влияющих на состояние живых организмов залива. Так, получено, что в прибрежной зоне северо-западной части Японского моря доминируют квазидвухлетняя и 7–8-летняя цикличности изменения температуры воды [3, 5]. В Амурском заливе известны временные диапазоны более высокой и более низкой температуры среды [5], что влияет на изменение скорости протекания физиологических процессов в организмах. Температура воды определяет и другие жизненно важные показатели среды. Например, в период особенно теплой воды 2006–2008 гг. зафиксировано снижение насыщения кислорода в придонных слоях Амурского залива

до уровня, меньшего чем 50% от уровня насыщения, повлекшего за собой явление гипоксии у животных, обитающих в придонной воде [10].

Для выявления тенденций изменения экосистемы необходимы многолетние систематические наблюдения за гидрохимическими и физическими параметрами среды, а также за состоянием сообществ и популяций организмов, выполненные в одном и том же месте, одними и теми же методами и, что важно, в одном и том же сезоне. Ранее такого рода наблюдений не проводилось [2]. Вследствие этого результаты сравнения данных, полученных с разных, в том числе расположенных довольно близко друг к другу, участков залива или в разные временные диапазоны приводили иногда к противоположным выводам о тенденциях даже по одним и тем же параметрам среды, включая уровень загрязнения.

Двустворчатые моллюски – одна из важнейших групп беспозвоночных, обычно занимающая доминирующее положение в бентосных сообществах прибрежной зоны. На эту группу беспозвоночных в том или ином месте обитания определяющее влияние оказывают температурный, кислородный и соленосный режимы и тип донных осадков. В местах, подверженных усиливающемуся антропогенному воздействию, изменение в состоянии их популяций нередко происходит более скоротечно и радикально, по сравнению с акваториями относительно чистых вод [8, 18]. Ранее наблюдалось, что в прибрежье Владивостока, у устья Первой Речки, месте выхода городских сточных вод, за 1982–1993 гг. значительно ухудшилось состояние популяции приморского гребешка *Mizuhopecten yessiensis* (Jay, 1856) и его эпибиоза [9].

В связи с тем, что за последующие годы произошли изменения степени и характера загрязнения морской воды и грунта, а также других абиотических факторов среды, цель данного исследования состояла в изучении динамики состояния популяции приморского гребешка за последние десятилетия. Работы по изучению процессов восстановления прибрежных сообществ и популяций беспозвоночных при ослаблении хозяйственного воздействия человека редки, поэтому было бы интересно исследование многолетней динамики состояния приморского гребешка в условиях снижения антропогенного воздействия. Исследования планировалось проводить одними и теми же методами и на одном и том же поселении гре-

бешка, обитающем у устья Первой Речки, расположенном в северо-восточной части Амурского залива. Особое внимание планировалось уделять изучению возрастного и размерного состава популяции, а также роста моллюска, как интегрального показателя состояния организма. Дополнительно планировалось проведение многолетнего сравнительного изучения степени биоэрозии раковины, обусловленной жизнедеятельностью эндолитического вида полихет *Polydora brevipalpa*, эпиойка приморского гребешка, в некоторых случаях эродирующих 100% поверхности створки, а также основного состава эпибиоза раковины гребешка.

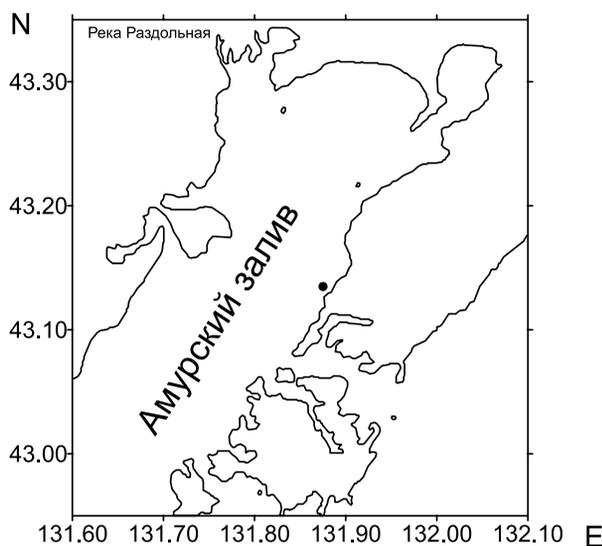


Рис. 1. Карта района отбора приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* в северо-восточной части Амурского залива. Черным кружком обозначено место отбора проб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Приморский гребешок отлавливали водолазы с одного и того же места у берегов г. Владивостока у устья Первой Речки в районе нефтебазы (рис. 1). Это место выхода коллекторов промышленных и бытовых стоков города. Гребешок собирали в мае-июне 1981, 1982, 1987, 1988, 1990, 1993, 1994, 1995, 1998, 1999, 2005, 2006, 20015 и 2016 гг. Каждый образец содержал 18–144 гребешков. Сбор гребешков производили вдоль трансекты, направленной от берега в сторону залива, с глубины от 6 до 8 метров. Учет плотности поселения гребешков выполняли путем подсчета особей вдоль трансекты, в коридоре 150 м (длина трансекты) на 4 м, т.е. на площади 600 м². В 1994, 2005 и 2015 гг. дополнительно были взяты створки мертвых особей в месте отбора живых гребешков.

Донные отложения в месте обитания популяции гребешка состояли преимущественно из заиленного разноразмерного песка с примесью гальки. Поверхностные донные отложения были отобраны с площадки 0.09 м² на глубину 3 см в 1998, 2006 и 2015 гг. В эти годы были взяты по одной-три пробы осадков. Все пробы донных отложений были высушены и просеяны через 0.1, 0.15, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0 и 10.0 мм сита. Размерная структура проб осадков была выражена как пропорция (%) веса сухих частиц грунта с соответствующим размерным диапазоном. Во все годы сбора проб гребешков опытные водолазы проводили визуальную оценку состояния грунта.

Возраст каждого гребешка был определен по микроскульптуре внешней поверхности его верхней створки согласно методу, предложенному и апробированному мной ранее [16]. Этот метод использует особенность приморского гребешка в разные сезоны образовывать различающиеся по виду и ширине микрокольца на внешней поверхности его верхней створки. По количеству участков, образованных в летнее время года, возможно определение индивидуального возраста гребешка, а измерение высоты раковины от вершины до соответствующего годового кольца позволяет ретроспективно исследовать скорость роста моллюска, как живого, так и мертвого.

Для каждого гребешка площадь его створки, которая была занята эндолитическими организмами (со следами сверления раковины на ее внешней поверхности) темно-коричневого или черного цвета, была определена в проходящем свете с внутренней стороны створки использованием прозрачной палетки с 1×1-мм сеткой. Степень биоэрозии створки была рассчитана как пропорция (в %) этой площади ко всей площади створки. Степень биоэрозии у каждого гребешка была определена для верхней створки, т.к. нижняя створка обычно была поражена незначительно. Поражение раковины гребешка изменяется с его возрастом, поэтому сравнение степени биоэрозии раковин гребешков из выборок разных лет производилась отдельно для каждого возрастного класса моллюска-хозяина. С изменением площади биотопа по мере роста раковины и повышением вероятности поселения эпибионтов с увеличением времени пребывания моллюска в воде происходят сукцессионные изменения в эпибиозе его раковины. Поэтому сравнение эпибиоза раковин гребешка было проведено для средневозрастных, 3–4-летних, особей.

Для идентификации существенности различия для каждого возраста гребешка между средними высотами раковины, а также степенями биоэрозии среди различных пар лет наблюдения использовался критерий Стьюдента. Значимость критерия различия соответствовала $P < 0.05$. До статистического анализа все данные были проверены на нормальность при помощи критерия Колмогорова-Смирнова. Степени биоэрозии раковины представлены процентными значениями, поэтому они были трансформированы путем извлечения квадратного корня с целью обеспечения однородности и нормальности отклонений. Так как изучаемый вид является долгоживущим, то при выявлении ежегодных изменений в скорости роста гребешка следовало избегать усреднения показателя за большой промежуток времени. Поэтому для сравнения скорости роста гребешка в разные периоды наблюдений были отобраны только особи до четырехлетнего возраста включительно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Параметры среды обитания популяции. На изучаемых глубинах температура воды изменялась в течение года в диапазоне от -1.8 до 24.3°C (январь и август соответственно), а соленость — от 25.5 и 34.0‰ [9]. Значительные изменения происходили в структуре донных отложений за последние десятилетия. В 1995 г. донные осадки состояли главным образом из песка, ила и гравия, и их поверхность, по наблюдениям водолазов, покрывал 1.5-см слой «велюра», т.е. подвижный слой неразложившегося органического материала. С 1998 г. и в последующие годы «велюр» уже не обнаруживался. Осадки в 1998 г. были составлены из мелко- и среднезернистого песка с примесью ила и гравия (рис. 2). Позже, в 2006 г., пропорция мелкозернистых компонентов уменьшилась (рис. 2). В 2015 г. в составе грунта повысилось содержание мелких фракций, как мелкозернистого песка, так и ила (рис. 2). Общая «формула», т.е. конфигурация гистограммы, отображающей состав донных осадков, оставалась в целом схожей, но существенные изменения наблюдались в пропорции наиболее мелкой фракции грунта и в наличии или отсутствии слоя «велюра».

Структура популяции гребешка. Изучена динамика возрастного и размерного состава популяции, а также роста моллюска как интегрального показателя состояния организма (табл. 1, рис. 3, 4). За весь период наблюде-

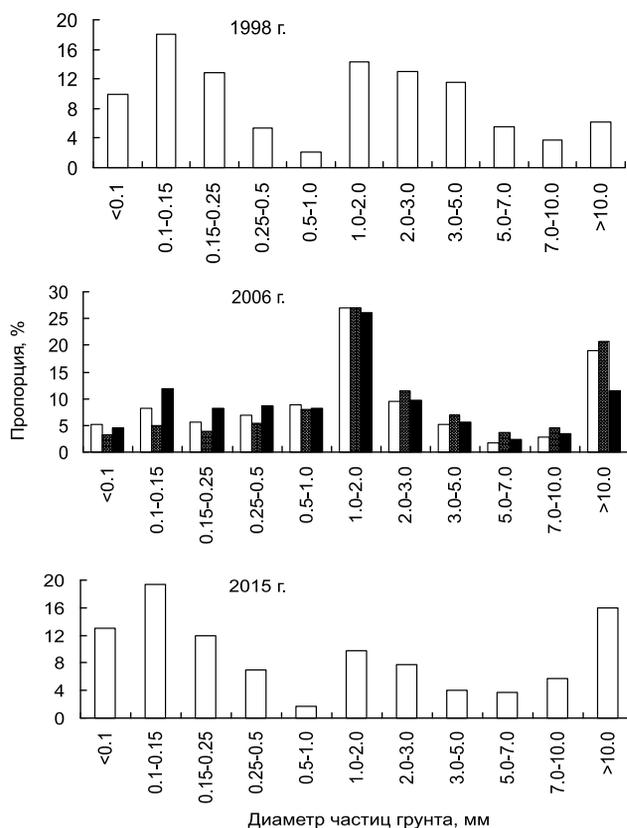


Рис. 2. Динамика гранулометрического состава донных осадков в месте отбора проб приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* в северо-восточной части Амурского залива.

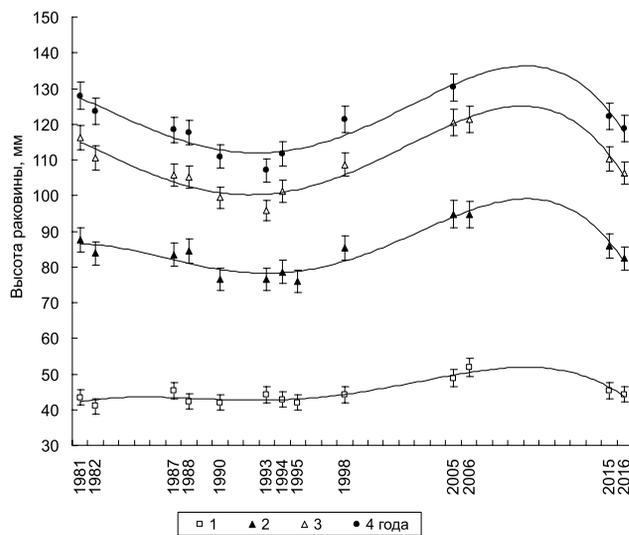


Рис. 3. Изменения средних высот раковин разновозрастных особей приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* в северо-восточной части Амурского залива. Вертикальные отрезки — ошибки среднего значения.

ния гребешки старше 11.5 лет не встречались, что далеко до максимального возраста (22 года) для моллюсков данного вида [7]. Выявлено, что в 1981–1982 гг. популяция гребешка

была представлена наиболее разнообразными по размеру (75–142 мм, в среднем 112.1 ± 2.0 мм) и возрасту (2–10 лет, в среднем 3.3 ± 0.2 года) особями. При этом основную долю составляли молодые 2–3-летние гребешки, что характерно для распределения нормально функционирующей и пополняющейся популяции, обитающей в заливе Петра Великого [7]. К концу 80-х крупные старые особи в популяции уже не были найдены. Позднее, в 90-х годах, судя по увеличивающемуся среднему и максимальному возрасту гребешков, наблюдалось постепенное

старение популяции (табл. 1). Последнее заметное пополнение популяции наблюдалось только в 1992–1993 гг., что отражено в структуре популяции в 1993–1995 гг. (табл. 1). Это свидетельствует о низкой способности к успешному размножению половозрелых в 1994–1996 гг. гребешков. В 2005–2016 гг. популяция неизменно была представлена молодыми гребешками, как и в 80-е годы, но, судя по средним значениям высоты раковины, гребешки были уже крупнее, что означает повышение скорости роста объектов наблюдения (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1. Динамика показателей возрастной и размерной структуры выборок из популяции гребешка *Mizuhopecten yessoensis* в северо-восточной части Амурского залива

Год отбора пробы	№	Показатели					
		Возрастной структуры			Размерной структуры		
		средний возраст	основные классы	диапазон	средняя высота раковины	основные классы	диапазон
1982	46	3.3 ± 0.2	2–3	2–10	112.1 ± 2.0	110–120	75–142
1987	29	3.1 ± 0.1	3	2–5	103.6 ± 0.9	100–110	69–133
1988	20	3.4 ± 0.1	4	2–4	106.3 ± 0.5	110–120	74–125
1990	33	5.2 ± 0.1	4–5	4–8	120.9 ± 0.7	110–130	114–132
1993	75	6.5 ± 0.2	7–8	1–9	115.1 ± 2.0	120–130	50–133
1994	144	4.6 ± 0.2	2–3	2–10	110.6 ± 1.2	110–120	66–139
1995	18	4.7 ± 0.6	2–3	2–9	103.7 ± 5.0	80–90 и 110–130	60–128
1998	32	6.1 ± 0.3	6	2–11	119.4 ± 1.9	110–120	72–133
1999	18	8.6 ± 0.6	9–10	6–11	125.9 ± 1.8	120–130	120–133
2005	22	4.0 ± 0.3	4	3–5	128.4 ± 1.5	120–130	122–133
2006	18	2.6 ± 0.3	2–3	2–6	112.3 ± 4.2	100–110	96–145
2015	44	3.0 ± 0.1	2–3	2–4	107.0 ± 1.8	100–120	78–129
2016	23	3.1 ± 0.2	3–4	2–4	115.0 ± 2.9	120–130	80–133

Примечание. Данные представлены как среднее значение \pm ошибка среднего значения. № – размер выборки.

Плотность популяции гребешка в районе исследования в 1992 г. была довольно высокой — около 0.2–0.3 экз/м². Это обычная, наиболее часто наблюдаемая плотность поселения данного вида моллюсков в заливе Петра Великого [7]. Позднее, к 1994–1995 гг., плотность снизилась до низких для вида показателей, в среднем до 0.03–0.09 экз/м². В это время встречалось большое количество пустых раковин — около 0.2–0.7 экз/м². Такое снижение плотности и пропорции молодых особей в популяции, а также соотношения живых и мертвых особей, скорее всего, объясняются неблагоприятными условиями среды для популяции в этот промежуток времени. Толстый слой органики над донными осадками требовал большого количества кислорода для его разложения. Поэтому гребешок,

чувствительный к недостатку кислорода, не всегда мог выжить в таких условиях [23]. В 1998 г. плотность поселения увеличилась до обычной для вида — 0.2 экз/м². К этому времени повысилась и выживаемость гребешков, встречались особи с максимальным возрастом для данного местообитания (табл. 1). Это свидетельствует об улучшении обстановки в районе исследования, связанного, по-видимому, со снижением уровня загрязнения органическими веществами акватории и донных осадков, которые очистились от органического «вельюра» на их поверхности. Плотность популяции в 2005–2016 гг. была опять низкой для вида и составляла 0.01–0.02 экз/м². Встречались только молодые особи до 6-, а в 2016 г. исключительно до 4-летнего возраста, хотя даже в период сильного

загрязнения, в 1990–1994 гг., были найдены и 8–10-летние гребешки (табл. 1). Низкая для вида плотность поселения и отсутствие крупных гребешков в популяции объясняется, скорее всего, браконьерством аквалангистов, оснащенных современным оборудованием для подводного лова на довольно большой глубине. Ранее, в период сильного загрязнения, браконьерства не наблюдалось в этом районе побережья Владивостока. Таким образом, в условиях снижения уровня загрязнения обнаружены последствия антропогенного влияния уже другого рода на исследуемую важную компоненту прибрежного биоценоза — приморский гребешок.

Скорость роста гребешка. Установлено, что 1982–1993 гг. — период постепенного снижения скорости роста, соответствующий интенсификации антропогенного загрязнения залива (рис. 3,4). Скорость роста гребешков, отловленных в заключительной фазе этого периода — в 1990–1993 гг., была одной из самых низких для гребешков, обитающих в заливе Петра Великого [7]. Мускулы-аддукторы гребешков, отловленных в 1990–1993 гг., были водянистыми и дряблыми, что также свидетельствует о плохом физиологическом состоянии моллюсков. Скорее всего, это объясняется усилением загрязнения вод залива в 1982–1993 гг. и накоплением загрязняющих веществ, в том числе и органики, поступающей с бытовыми сбросами города, в донных осадках [22]. Увеличивающееся количество органического материала приводило к повышению потребления кислорода на его минерализацию, что снижало концентрацию растворенного кислорода в придонной воде [10, 21], ухудшая условия обитания гребешка. Кроме того, установлено, что приморский гребешок потребляет в пищу в основном живой фитопланктон (диатомовых водорослей и динофлагеллят), детрит не имеет существенного значения как источник пищи для изученного вида [19]. Поэтому смешение в придонном слое воды живого фитопланктона с большим количеством мертвых органических частиц, а также с мелкими неорганическими частицами заиленного грунта уменьшало потенциальный источник энергии для роста гребешка, способного отфильтровывать частицы диаметром 0.09–0.95 мкм [7].

В 1994–1995 гг. наблюдалось статистически незначимое ($P > 0.3$) увеличение скорости роста, как следствие только начала очищения акватории и донных осадков. В 1998–2006 гг.,

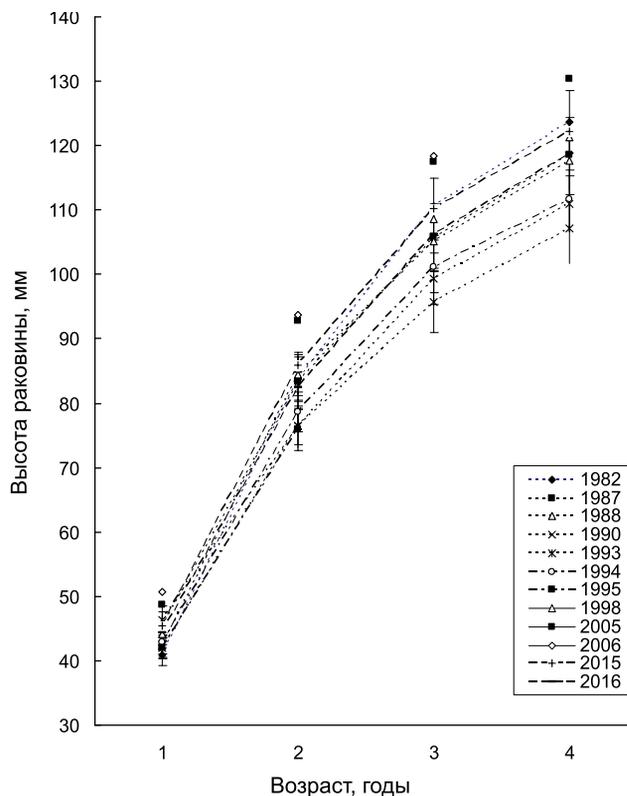


Рис. 4. Динамика усредненного роста приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis*, имеющего возраст не более четырех лет, в северо-восточной части Амурского залива. 1982–1993 гг. — период понижения скорости роста, 1994–1995 гг. — переходный период с незначительным увеличением скорости роста, 1998–2006 гг. — период значимого повышения и далее — нового снижения показателей роста. Вертикальные отрезки — ошибки среднего значения.

при уменьшении загрязнения среды, связанного со снижением объема сброса загрязненных вод из-за падения промышленного производства, скорость роста гребешков статистически значимо ($P < 0.01$) увеличивалась (рис. 3, 4). Далее, к 2015 г., наблюдался период нового снижения показателей роста гребешков (рис. 3, 4). Это связано с повышением эвтрофикации поверхностных и придонных вод залива, приводящей, в частности, к снижению концентрации кислорода в морской воде и чрезмерному развитию вредоносных водорослей, что отрицательно сказывается на состоянии приморского гребешка [2, 14, 23].

Сравнительный анализ скорости роста живых и погибших ранее особей в выборке, сделанной в 1994 г., показал, что показатели их скорости роста практически совпадают (рис. 5). Скорость роста как живых, собранных в 1994 г. гребешков, так и погибших ранее особей, статистически значимо ($P < 0.01$) ниже таковой гребешков, выловленных до 1990 г.

(в 1981–1988 гг.) (рис. 4). В то же время она близка к скорости роста гребешков, отловленных в 1990–1994 гг. (рис. 4). По-видимому, основная часть гребешков погибла в неблагоприятный для вида период 1990–1994 гг. Именно в это время встречалось большое количество пустых раковин. Основная часть погибших особей была в возрасте 6–8 лет (в среднем 6.8 ± 0.2 года), далеко не предельного возраста для данной популяции. Это, скорее всего, также свидетельствует об их гибели в неблагоприятный период. Скорость роста

живых гребешков в выборке 2005 г. была статистически значимо ($P < 0.01$) более высокой, чем у погибших ранее особей, а скорость роста последних совпадала с таковой гребешков, собранных в 1994 г. (рис. 5). Это, скорее всего, означает, что основную часть коллекции пустых раковин составляли гребешки, также погибшие еще в начале 90-х. Они же представляли и коллекцию, собранную в 2015–2016 гг., т.к. скорость роста особей, погибших ранее, собранных в 2015 г., также не отличалась от скорости роста гребешков, живых и погибших, отловленных в 1994 г. Скорость роста гребешков к 2015 г. снизилась, поэтому разница в показателях роста живых и погибших особей уменьшилась, и достоверно различалась только для четырехлеток (рис. 5). Следовательно, за период исследования самые неблагоприятные времена для популяции гребешка, сопровождавшиеся наибольшей смертностью, были до 1994 г., т.е. в периоды интенсификации промышленности без надлежащего очищения сбросов в залив и самого начала снижения объемов производства, когда залив еще не успел очиститься в достаточной степени.

Биоэрозия и основные эпибионты раковины гребешка. Проведено сравнение степени биоэрозии раковины полихетамии *Polydora brevipalpa*, которые составляют основную часть организмов симбионтов приморского гребешка, сверлящих его раковину. Исследована и динамика основного состава эпибиоза раковины гребешка. Все выборки показали, что в основном эродирована верхняя створка. Биоэрозия нижней створки наблюдалась практически только для особей старше пяти лет. Для них степень биоэрозии была 0–5% от площади нижней створки. С 1988 по 1998 гг. статистически значимо ($P < 0.01$) год от года повышалась степень биоэрозии верхних створок гребешков (табл. 2). Даже при сравнении этого показателя между 1982 и 1998 гг. у 2–6-летних особей такие изменения статистически значимы. Так, у четырехлетних особей в 1982 г. было эродировано в среднем $21.4 \pm 3.5\%$ площади верхней створки, а в 1998 г. — уже $48.3 \pm 6.1\%$. Обращают на себя внимание большие ошибки для средних значений степени биоэрозии. Это объясняется, скорее всего, склонностью к агрегированию полихеты *P. brevipalpa*, и, как следствие, неравномерностью заселения гребешков в популяции. Одни створки заселены полихетой в меньшей степени, другие створки —

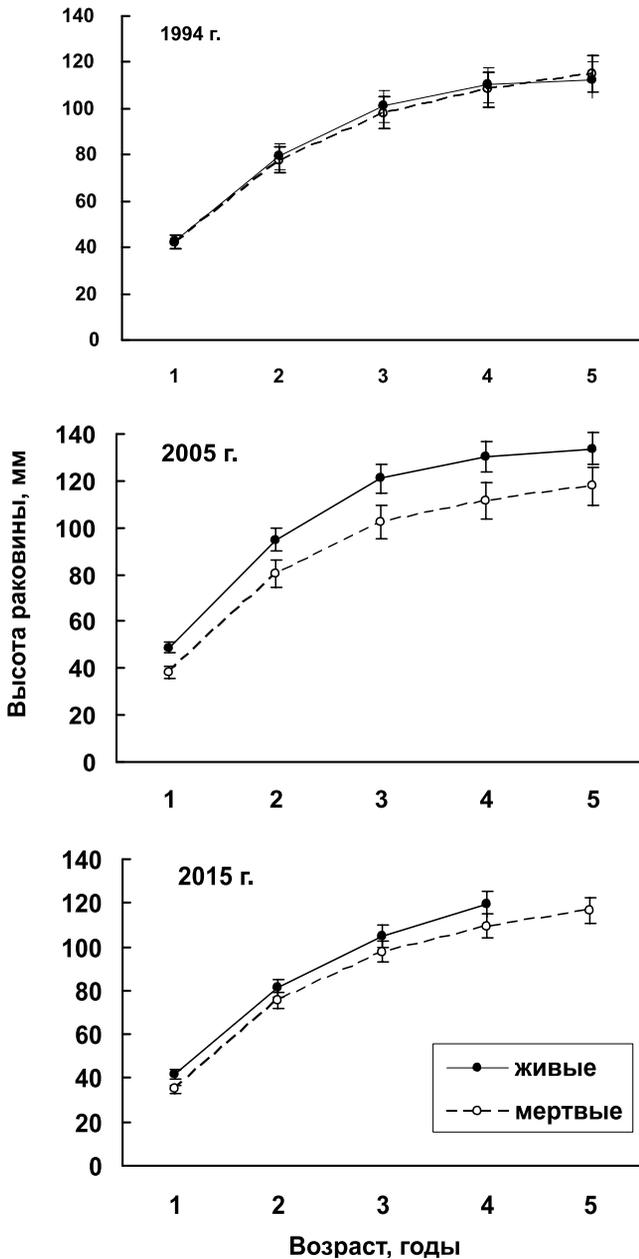


Рис. 5. Сравнительная динамика ретроспективно восстановленного роста мертвых и живых особей в выборках, сделанных в разные годы в северо-восточной части Амурского залива. Вертикальные отрезки — ошибки среднего значения.

Таблица 2. Динамика степени эродирования верхних створок разновозрастных гребешков *Mizuhopecten yessoensis* полихетой *Polydora brevipalpa* в северо-восточной части Амурского залива

Год отбора пробы	Средняя площадь раковины гребешка в разном возрасте (годы), эродированная полихетами, %			
	2	3	4	5
1982	0±0	0.3±0.1	21.4±3.5	33.4±6.0
1988	0±0	0.3±0.1	0.2±0.0	—
1990	—	—	1.3±0.1	—
1994	0±0	1.9±0.2	8.1±1.9	21.5±4.5
1998	—	—	48.3±6.1	69.3±7.0
2005	—	10.5±1.6	27.6±5.1	63.0±2.2
2006	0.4±0.2	0.7±0.1	—	—
2015	0±0	4.2±1.9	17.3±3.9	—
2016	0.9±0.7	9.8±2.8	25.3±3.7	—

Примечание. Данные представлены как среднее значение ± ошибка среднего значения. Знак «—» означает отсутствие в пробе гребешков данного возраста.

в большей степени, и последние продолжают интенсивнее заселяться молодью полихеты. Кроме того, поселившиеся ранее полихеты постепенно разрастаются, увеличивая свои ходы в раковине, тем самым, увеличивая степень биоэрозии раковины в течение жизни гребешка. Повышение степени биоэрозии раковин гребешка в 1982–1998 гг. (табл. 2) объясняется увеличением содержания в донных осадках органических веществ, способствующих развитию бактерий и фитопланктона, основных источников пищи для полихет [19]. В 1995 г. органических веществ, поступающих в воду, было настолько много, что они не успевали деминерализоваться в толще воды и подвижным слоем покрывали дно. Хотя к 1998 г. донные осадки очистились от «велюра», они представляли собой заиленный песок (рис. 2), в котором успешно развиваются микроорганизмы, пригодные для питания уже обильно осевших в прошлые годы полихет [15].

Далее, к 2005 г., степень биоэрозии снизилась, и оставалась примерно на одном и том же уровне до 2016 г. (табл. 2). Например, для четырехлеток она была в статистически неразличимом ($P > 0.05$) диапазоне 17.3–27.6%. Снижению степени биоэрозии в этот период времени способствовали как меньшее органическое загрязнение акватории, чем в первой половине 90-х, так и низкая плотность поселения популяции, замедляющая распространение этого эндолитика. Кроме того, в это десятилетие, 2005–2016 гг., популяция гребешка состояла из молодых особей (табл. 1), которые всегда менее поражены полихетами, чем особи старше четырех лет (табл. 2), что также снижает обилие и интенсивность распространения личинок полихет.

За 1982–2016 гг. неоднократно изменялся основной состав и обилие эпибионтов гребешка (табл. 3). Если в начале наблюдений доминирующим по биомассе видом был баланус *Hesperibalanus hesperius*, то к 1990 г. он был вытеснен баланусом *Balanus rostratus*, более устойчивым к органическому загрязнению [9]. До середины 90-х эпибиоз был обильным, покрытие раковины доходило почти до 100%. Это можно объяснить тем, что сильно заиленные донные осадки были покрыты неразложившейся органикой, т.е. фактически отсутствием субстрата, подходящего для оседания личинок беспозвоночных. Раковина гребешка, несколько возвышавшаяся над грунтом, была удобным субстратом для оседания и выживания молоди эпибионтов. Позже, к концу 90-х, эпибиоз гребешка был необильным. Донные осадки очистились от «велюра» и стали более пригодными для оседания личинок. Живые *B. rostratus* встречались на раковине гребешка уже единично, а баланус *H. hesperius* вновь стал встречаться в эпибиозе гребешка, преимущественно его молодью, чаще только его пустые домики и основания домиков. В 2005–2016 гг. эпибиоз оставался малочисленным. Опять доминировали живые особи балануса *B. rostratus*, чаще единичные особи у вершины раковины гребешка, а субдоминантами стали баланус *H. hesperius* и серпулидная полихета *Hydroïdes ezoensis*, строящая многогранное трубкообразное укрытие на поверхности раковины гребешка. При этом если в 2005–2006 гг. среди субдоминантов чаще встречался *H. hesperius*, то в 20015–2016 гг. — *H. ezoensis* (табл. 3). Это свидетельствует об ухудшении условий среды к 2015–2016 гг., т.к. *Hydroïdes* способны

переносить загрязнение, а *H. hesperius* чувствительны к органическому загрязнению [9, 12].

Таким образом, в районе исследования, месте повышенного экологического риска, за 1981–2016 гг. выделяются три основных этапа изменения состояния популяции гребешка и сообщества эндо- и эпибиоза его раковины. В первом этапе, до начала 90-х, наблюдалось постепенное ухудшение состояния популяции. Снижались скорость роста и продолжительность жизни, повышалась смертность гребешков. Значительно повышалась степень биоэрозии раковин гребешков, что отрицательно влияет на состояние и скорость роста моллюска [8, 17]. Этот этап соответствовал периоду интенсификации антропогенного загрязнения залива [6, 22]. Наиболее вероятно, что пониженная концентрация кислорода, высокая взмучиваемость мелкозернистых частиц грунта, обогащение придонного слоя воды мертвым органическим веществом, а также повышенное содержание загрязнителей, накапливавшихся в иле, были главными

причинами уменьшения скорости роста гребешка в исследованном заиленном районе в 1982–1993 гг. [8–11, 15, 23].

Далее, в переходный период, в середине 90-х, снижение темпов роста гребешка прекратилось. Это был период уменьшения загрязнения среды [2, 4].

Во втором этапе, длящийся до середины 2000-х, состояние популяции улучшилось. Повысилась скорость роста гребешка. Степени биоэрозии и обилия эпибиоза раковины снизились, что улучшает физиологическое состояние и рост гребешка [17, 19, 20]. Это время постепенного очищения залива. Улучшение качества воды сказалось и на других организмах, обитающих в заливе. Известно, что в загрязненных районах Амурского залива мизиды *Paracanthomysis* sp., чувствительная к загрязнениям, не была обнаружена в 1982–2000 гг., а в 2004–2008 гг. ее обилие было сравнимо с таковым в условно чистых районах [11]. Выявлены положительные изменения и в структуре сообщества анфельции в Амурском заливе с 1992 по 2005 г. [21].

Таблица 3. Динамика основного состава сообщества беспозвоночных эпибионтов верхней створки 3–4-летнего приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* в северо-восточной части Амурского залива

Год отбора пробы	Основные эпибионты			
	доминантный вид	биомасса, г/створку	субдоминантные виды	биомасса, г/створку
1982	<i>Hesperibalanus hesperius</i>	7.1±0.8	<i>Balanus crenatus</i>	6.5±0.8
1987	<i>Balanus rostratus</i>	74.3±9.8	<i>Hesperibalanus hesperius</i> <i>Hydroides ezoensis</i>	0.5±0.0 0.4±0.0
1988	<i>Balanus rostratus</i>	69.8±8.5	<i>Hydroides ezoensis</i> <i>Hesperibalanus hesperius</i>	0.9±0.1 0.4±0.0
1990	<i>Balanus rostratus</i>	27.2±4.1	<i>Hydroides ezoensis</i>	1.2±0.2
1993	<i>Balanus rostratus</i>	16.3±3.0	<i>Hydroides ezoensis</i>	1.5±0.2
1994	<i>Balanus rostratus</i>	14.7 ± 2.6	<i>Hydroides ezoensis</i>	1.8±0.3
1995	<i>Balanus rostratus</i>	15.3±2.4	<i>Hydroides ezoensis</i>	1.8±0.2
1998	<i>Balanus rostratus</i> (преимущественно мертвые)	6.0±1.0	<i>Hydroides ezoensis</i> <i>Hesperibalanus hesperius</i>	1.2±0.2 0.4±0.0
2005	<i>Balanus rostratus</i>	3.0±0.7	<i>Hesperibalanus hesperius</i> <i>Hydroides ezoensis</i>	0.7±0.1 0.5±0.1
2006	<i>Balanus rostratus</i>	2.8±1.0	<i>Hesperibalanus hesperius</i> <i>Hydroides ezoensis</i>	0.7±0.1 0.5±0.0
2015	<i>Balanus rostratus</i>	3.3±0.6	<i>Hydroides ezoensis</i> <i>Hesperibalanus hesperius</i>	1.1±0.1 0.4±0.0
2016	<i>Balanus rostratus</i>	3.1±0.5	<i>Hydroides ezoensis</i> <i>Hesperibalanus hesperius</i>	0.8±0.1 0.3±0.0

Примечание. Данные представлены как среднее значение ± ошибка среднего значения.

В третьем этапе, продолжающийся и в настоящее время, наблюдается период нового снижения показателей роста гребешков. Это связано с повышением эвтрофикации воды вследствие резкого усиления автомобилизации в 2000-е. Поток двуокси азота в атмосферу возрастает. Этот окисел во время атмосферных осадков возвращается в море, усиливая эвтрофикацию морской воды [2, 14]. В свою очередь, эвтрофикация приводит к снижению насыщенности воды кислородом, к недостатку которого приморский гребешок крайне чувствителен [14, 23]. Это особенно заметно при повышении температуры воды ежегодно в летне-осенний сезон и периодически в годы, на которые приходятся максимумы температуры воды, связанные с квазидвухлетними и 7–8-летними циклами ее колебания [3, 5]. Так, в период особенно теплой воды 2006–2008 гг. зафиксировано особенно сильное снижение насыщенности кислородом придонных слоев воды в Амурском заливе [9]. Кроме того, увеличение положительных годовых аномалий температуры поверхностного слоя воды также приводят к снижению насыщенности воды кислородом в летнее время [1, 9].

Возможно, что популяцию приморского гребешка, обитающего в Амурском заливе у берегов Владивостока, ожидает следующий этап ее развития, который принесет положительные изменения в ее состоянии. Планируется реализация программы строительства и реконструкции водоснабжения и канализации во Владивостоке. Окончание строительства и ввод очистных сооружений и коллекторов в эксплуатацию на полную мощность планируется в 2017 г.

Источник финансирования. Работа частично выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН (грант № 15-И-6-059).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайко Л.А. Особенности гидрометеорологического режима прибрежной зоны зал. Петра Великого (Японское море). Владивосток: Дальнаука, 2005. 151 с.
2. Звалинский В.И., Тищенко П.И., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Эвтрофикация Амурского залива // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря / Ред. Христоворова Н.К. Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2012. С. 76–114.
3. Зуенко Ю.И. Сезонная и межгодовая изменчивость температуры воды в северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 131. С. 3–21.
4. Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоконь М.В. Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000–2010 гг.) // Вестник ДВО РАН. 2012. № 2. С. 55–63.
5. Лучин В.А., Тихомирова Е.А. Типовые распределения океанографических параметров в заливе Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 169. С. 134–146.
6. Нигматулина Л.В. Воздействие сточных вод контролируемых выпусков на экологическое состояние Амурского залива (Японское море): Дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Владивосток, 2005. 19 с.
7. Приморский гребешок / Ред. Мотавкин П.А. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 244 с.
8. Силина А.В. Многолетние изменения полихетной биоэрозии раковин гребешка *Mizuhopecten yessoensis* из северо-западной части Японского моря // Биология моря. 2003. Т. 29. № 6. С. 436–440.
9. Силина А.В., Овсянникова И.И. Многолетние изменения в сообществе приморского гребешка и его эпибионтов в загрязненной части Амурского залива Японского моря // Биология моря. 1995. № 1. С. 59–66.
10. Тищенко П.Я., Сергеев А.Ф., Лобанов В.Б. и др. Гипоксия придонных вод Амурского залива // Вестник ДВО РАН. 2008. № 6. С. 115–133.
11. Черкашин С.А., Вейдеман Е.Л. Экотоксикологический анализ состояния прибрежных экосистем залива Петра Великого (Японское море) // Вопросы рыболовства. 2005. Т. 6. № 4 (24). С. 637–652.
12. Moran P.J., Grant T.R. The effect of industrial pollution on the growth rate of the serpulid polychaete *Hydroides elegans* (Haswell) // Proc. First Polychaete Conf. / Ed. Hutchings P.A. Sidney: Linnean Society of New South Wales, 1984. P. 361–369.
13. Moshchenko A., Belan T., Korostelev Y. Long-term changes of marine environment and benthic communities in the north part of Amursky Bay (The Sea of Japan) // Abstr. Annual Meet. PICES. Khabarovsk, Russia, 2011. P. 93.
14. Nixon S.W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns // *Ophelia*. 1995. V. 41. P. 199–220.
15. Shimeta J., Amos C.L., Beaulien S.E., Katz S.L. Resuspension of benthic protists at subtidal coastal sites with differing sediment composition // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2003. V. 259. P. 103–115.
16. Silina A.V. Mortality of late juvenile and adult stages of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Jay) // *Aquaculture*. 1996. V. 141. P. 97–105.

17. *Silina A.V.* Tumor-like formations on the shells of Japanese scallops *Patinopecten yessoensis* (Jay) // *Mar. Biol.* 2006. V. 148. P. 833–840.
18. *Silina A.V., Evseev G.A.* Long-term changes in biodiversity of juvenile benthic bivalve assemblage related to decrease of anthropogenic influence // *Marine Biodiversity and Bioresources of the North-Eastern Asia. Book of Abstracts.* Jeju: Cheju National University, 2008. P. 19–23.
19. *Silina A.V., Zhukova N.V.* Topical and trophic relationships in a scallop and boring polychaete association: fatty acid biomarker approach // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2009. V. 394. P. 125–136.
20. *Silina A.V., Zhukova N.V.* Association of the scallop *Patinopecten yessoensis* and epibiotic barnacle *Balanus rostratus*: inter-specific interactions and trophic relationships determined by fatty acid analysis // *Mar. Ecol.* 2016. V. 37. № 2. P. 257–268.
21. *Skriptsova A.V., Sabitova L.I., Cherbadgy I.I.* The decadal changes in the Ahnfeltia bed in the Peter the Great Bay (Sea of Japan): possible causes // *J. Appl. Phycol.* 2016. V. 27. P. 417–427.
22. *Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N.* The state of the marine environment near Vladivostok, Russia // *Mar. Pollut. Bull.* 1993. V. 26. № 8. P. 418–422.
23. *Yamamoto G.* Tolerance of scallop spats to suspended silt, low oxygen tension, high and low salinities and sudden temperature changes // *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. IV Biol.* 1957. V. 23. P. 73–82.

Yeso Scallop Population under Climatic and Anthropogenic Changes of Environment in Amursky Bay of the Sea of Japan

© 2019 A. V. Silina

National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS,

Institute of Marine Biology, Vladivostok, Russia

e-mail: allasilina@mail.ru

Received August 10, 2016

After revision December 28, 2016

At the study area of industrial and domestic sewages into Amursky Bay at the coasts of Vladivostok city, three main stages in a development of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* population and community of endo- and epibionts of its shell were revealed for 1981–2016. During the first stage lasting until the beginning of 90th, the scallop growth rates and lifetime had decreased, but scallop mortality and degree of the shell bioerosion performed by endolithic polychaeta *Polydora brevipalpa* had increased. It was a period of an intensification of anthropogenic pollution of Amursky Bay. Further, at the middle of 90th, at a transitional period, the decline in the scallop growth rates had stopped. It was a period of a reduction of the pollution of the water and bottom sediments related to the decrease of sewages due to degradation of industry. During the second stage lasting until the middle of 2000th, the scallop growth rates had increased, but the degree of bioerosion and abundance of epibionts of the scallop shells had decreased. It was a period of the gradual natural depuration of the Bay. Later, during the third stage, which goes on to present day, the scallop growth rates declined again due to an increase of the water eutrophication resulting in the decline of the water oxygen saturation. This was most pronounced for periodic rises of the water temperature caused by quasi-biennial and 7–8-year periodicities of temperature fluctuations. Poaching became one of the negative anthropogenic factors entailing the substantial decline of the scallop population density.

Keywords: mollusks, bivalves, growth, shell bioerosion, anthropogenic pollution, environment