

М.А.ВАЩЕНКО, Т.Н.АЛЬМЯШОВА, П.М.ЖАДАН

## Многолетняя и сезонная динамика состояния гонад морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*, обитающего в условиях антропогенного загрязнения (Амурский залив Японского моря)

*Представлены данные о многолетней (1980-е, 1990-е и 2000-е годы) и сезонной (май–ноябрь 2003 г.) динамике гонадного индекса (ГИ) и индекса зрелости гонад (ИЗГ) морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*, обитающего в прибрежной зоне Амурского залива в районе Владивостока и в островной зоне зал. Петра Великого. Значительная межгодовая изменчивость ГИ и ИЗГ у животных пригородной и островной зон залива объясняется действием многих факторов – температуры, солености, обеспеченности пищей и, главным образом, загрязнением среды. В конце 1990–начале 2000-х годов произошел сдвиг сроков нереста морского ежа, обитающего в районе Спортивной гавани (Владивосток), с осени на раннелетний период. Вероятно, это обусловлено высоким уровнем загрязнения донных осадков тяжелыми металлами и хлорорганическим пестицидом ДДТ.*

***Long-term and seasonal dynamics of the gonad state in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* under anthropogenic pollution (Amursky Bay, Sea of Japan).*** M.A.VASCHENKO (Institute of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok), T.N.ALMYASHOVA, P.M.ZHADAN (V.I.Ilichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

*The long-term (1980s, 1990s and 2000s) and seasonal (May–November, 2003) dynamics of the gonad index (GI) and gonad maturity index (GMI) in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* from the coastal zone of Amursky Bay near Vladivostok and from the island zone of Peter the Great Bay are shown. The considerable inter-annual variability of GI and GMI in the sea urchins inhabiting the «near city» and «island» zones of the bay can be explained by influence of some factors such as temperature, salinity, food availability, and, mainly, pollution. At the end of 1990s – the beginning of 2000s the spawning season of the sea urchins from the Sport Harbor (Vladivostok) shifted from autumn to the beginning of summer. This phenomenon appears to be caused by high level of bottom sediment contamination with heavy metals and organochlorine pesticide DDT.*

Прибрежные зоны морей и океанов, где сосредоточена активная хозяйственная деятельность человека, подвержены длительному воздействию разнообразных антропогенных факторов, в том числе загрязнения. Сложное взаимодействие биогеохимических и гидродинамических процессов приводит к концентрации

ВАЩЕНКО Марина Александровна – кандидат биологических наук (Институт биологии моря ДВО РАН, Владивосток), АЛЬМЯШОВА Татьяна Николаевна, ЖАДАН Петр Михайлович – кандидат биологических наук (Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток).

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ДВО РАН № 04-1-П-13-043, 03-3-А-07-056, 03-3-Е-07-013 и APN PROJECT 2004-18-NMY.

загрязняющих веществ в донных отложениях и придонном слое воды. Изменение химического состава воды и осадков вызывает нарушение физиологических функций придонных животных, включая важнейшую из них – репродуктивную. В зонах антропогенного загрязнения уменьшается численность видов вплоть до полного их исчезновения; виды, чувствительные к загрязнению, замещаются толерантными. Видовой состав и структура донных сообществ изменяются, и в результате в прибрежных районах снижается биоразнообразие. Одной из основных причин трансформации и дегенерации сообществ может быть нарушение нормально-го воспроизводства видов. Это обуславливает необходимость исследований состояния репродуктивной функции массовых донных видов беспозвоночных и рыб, обитающих в хронически загрязненных районах.

Амурский залив – один из заливов второго порядка зал. Петра Великого, крупнейшего в северо-восточной части Японского моря, считающегося одним из наиболее продуктивных районов дальневосточных морей. Это экономически наиболее развитый район Приморского края. Здесь расположены большие города: Владивосток (крупнейший порт на российском Дальнем Востоке с населением свыше 630 тыс. человек) и Уссурийск (свыше 160 тыс. человек). В бассейне р. Раздольная, впадающей в залив на севере, развито сельское хозяйство. Это вторая по величине (после р. Туманная) река южного Приморья. Ее сток оказывает существенное влияние на гидрологический и гидрохимический режим Амурского залива [15].

Экономическое развитие региона в 1960–1990-е годы не сопровождалось строительством эффективных очистительных сооружений, и прибрежные воды Амурского залива принимали почти неочищенные сточные воды. Основные источники загрязнения залива – это промышленные и бытовые стоки Владивостока и его пригородов, морской транспорт, сельскохозяйственные стоки и неочищенные сточные воды Уссурийска, попадающие в залив вместе с водами р. Раздольная. По экспертным оценкам, годовой объем сточных вод, сбрасываемых в Амурский залив, составляет около 120 млн т [14]. По данным химических и биологических мониторинговых исследований, проведенных в 1980–1990-х годах, Амурский залив (особенно его кутовая часть и зона, прилегающая к Владивостоку) был отнесен к одному из наиболее загрязненных районов зал. Петра Великого [10].

В середине 1980-х годов мы начали исследование состояния репродуктивной функции массовых видов донных беспозвоночных, обитающих в загрязненных и относительно чистых районах зал. Петра Великого. Было показано, что морской еж *Strongylocentrotus intermedius* и приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis*, обитающие в прибрежной зоне вблизи Владивостока, не способны давать полноценное потомство из-за низкого качества продуцируемых ими половых клеток [6, 8, 24]. Мы предположили, что состояние репродуктивной функции донных беспозвоночных можно использовать в качестве биологического индикатора при оценке экологической ситуации в прибрежной морской зоне, подвергнутой антропогенному воздействию. Морской еж *S. intermedius* был выбран в качестве вида-индикатора для осуществления биомониторинга Амурского залива по ряду причин. Во-первых, этот вид широко распространен в зал. Петра Великого [2]. Во-вторых, это ценный промысловый вид, гонады которого употребляют в пищу. В-третьих, экспериментально было установлено, что взрослые особи, половые клетки, эмбрионы и личинки *S. intermedius* обладают высокой чувствительностью к токсическим веществам (тяжелым металлам, углеводородам нефти и др.) [3, 21].

Состояние репродуктивной функции морского ежа оценивалось по ряду показателей: гонадный индекс (ГИ – относительная масса половой железы, выраженная в процентах от массы животного), гистологическая характеристика гонад

(стадия репродуктивного цикла, патологические изменения в гонадах), содержание тяжелых металлов (ТМ) в гонадах, качество потомства (развитие от оплодотворения до появления личинок поздних стадий). Настоящая работа представляет анализ многолетней и сезонной динамики ГИ и индекса зрелости гонад (ИЗГ).

Карта-схема района исследований дана на рис. 1. Для изучения многолетней динамики состояния гонад морских ежей отбирали в августе 1984, 1985, 1989, 1997, 1999, 2000, 2002 и 2003 гг. на 5 станциях: о-в Скребцова (1), Спортивная гавань (2), мыс Токаревского (3), б. Алексеева на о-ве Попова (4) и острова Верховского (5). Первые 3 станции расположены в Амурском заливе, в прибрежной зоне Владивостока; станции 4 и 5 – в открытой островной части в зал. Петра Великого, отдалены от основных источников загрязнения и выбраны в качестве контрольных в 1984 и 1989 гг. соответственно. Для изучения сезонной динамики состояния гонад морских ежей отбирали ежемесячно с мая по ноябрь 2003 г. на станциях 2, 4 и 6 (о-в Рейнеке).

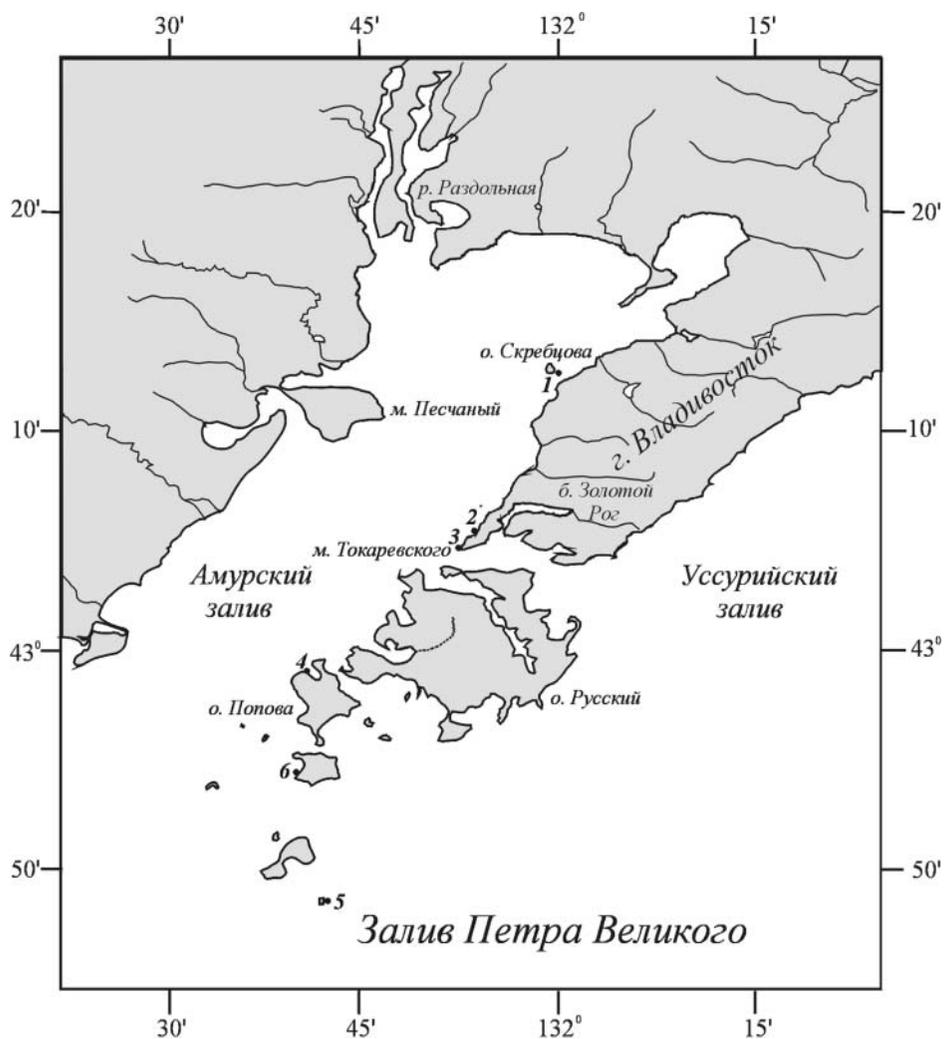


Рис. 1. Карта-схема расположения станций в зал. Петра Великого: 1 – о-в Скребцова, 2 – Спортивная гавань, 3 – мыс Токаревского, 4 – бухта Алексеева, 5 – острова Верховского, 6 – о-в Рейнеке

## Многолетняя динамика состояния гонад

Репродуктивный цикл морского ежа *S. intermedius* в зал. Петра Великого изучали несколько исследователей [9, 12, 16]. Для этого вида, как и для других морских ежей умеренной зоны, характерен годичный репродуктивный цикл с одним нерестом в летне-осенний сезон. В этом цикле выделяют несколько стадий, последовательно сменяющих друг друга на протяжении года. Для каждой стадии характерен определенный клеточный состав половых желез. Кроме половых клеток в гонадах присутствуют соматические вспомогательные клетки, участвующие в процессах питания растущих гамет и утилизации невыметанных половых клеток. На рис. 2 показаны стадии репродуктивного цикла женских особей морского ежа: посленерестовая («пустая» гонада с остаточными невыметанными клетками), половая инертность (восстановление гонады), начало развития (увеличение числа половых клеток), активный гаметогенез (рост и дифференцировка гамет), преднерестовая (частично зрелая гонада) и нерестовая (зрелая гонада). В циклическом развитии мужских гонад можно выделить такие же стадии.

В разных районах залива и в разные годы единичные самки со зрелыми гонадами могут появляться в период с конца мая до конца октября, однако, по данным исследователей, массовый нерест происходит в конце августа, в сентябре–начале октября. Гонадный индекс у самок и самцов достигает максимальных значений в августе–начале сентября и резко снижается в конце сентября, в октябре (рис. 3). Поэтому для мониторинга состояния гонад мы отбирали морских ежей во второй–третьей декаде августа.

Величина ГИ в период между нерестами определяется уровнем накопления питательных веществ во вспомогательных клетках и количеством половых клеток в гонадах. По мере приближения нереста снижается количество питательных веществ во вспомогательных клетках и увеличивается число мужских и женских

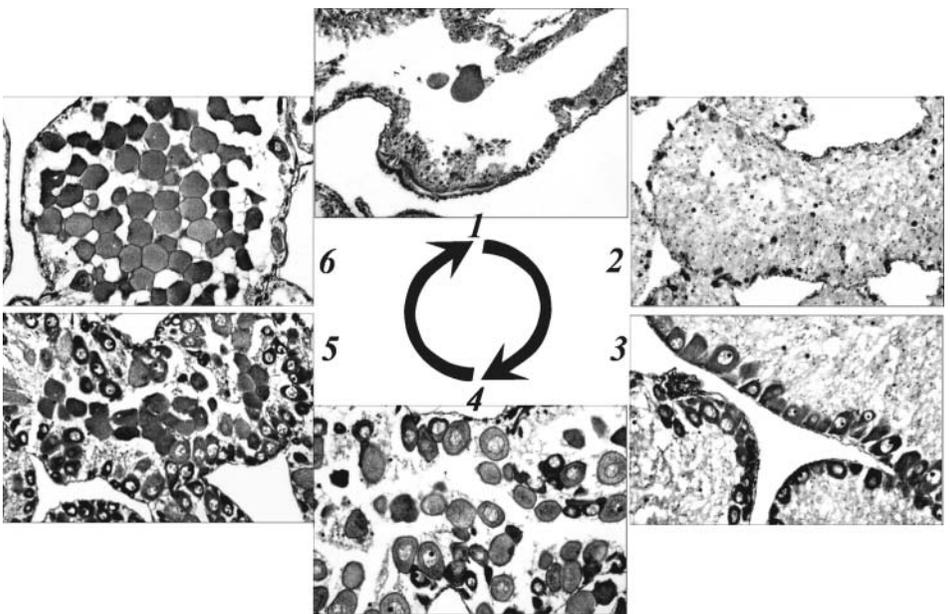


Рис. 2. Стадии репродуктивного цикла самок морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*: 1 – посленерестовая, 2 – половой инертности, 3 – начало развития, 4 – активный гаметогенез, 5 – преднерестовая, 6 – нерестовая

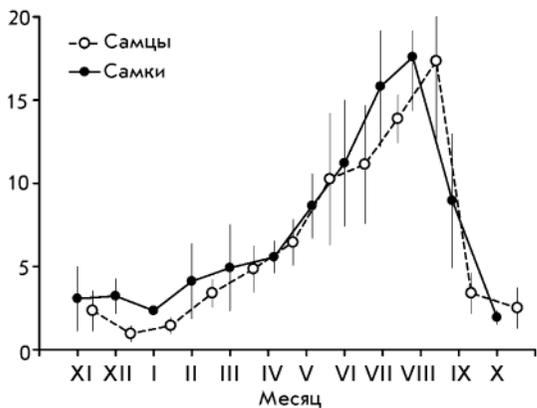


Рис. 3. Динамика гонадного индекса (%) морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*, обитающего в зал. Петра Великого, в течение года (данные по [16])

Динамика значений ГИ морских ежей на разных станциях в период исследований была различной (рис. 4). Для самок морских ежей со станции 1 в 1997 г. характерен резкий скачок значений ГИ. Величина ГИ у животных со станции 2 была самой высокой и приблизительно одинаковой на протяжении всего периода иссле-

гамет в ацинусах гонад, возрастает степень их дифференцированности. Поэтому наряду с ГИ мы определяли ИЗГ (число животных, находящихся на преднерестовой стадии репродуктивного цикла, выраженное в процентах от общего числа животных в выборке), отражающий степень готовности животных к нересту.

За время наших наблюдений с 1984 по 2003 г., в 1989 г. и с 2000 по 2003 г. зарегистрировано отсутствие этого вида на станции 1 вблизи о-ва Скребцова, расположенного во внутренней части залива (рис. 1).

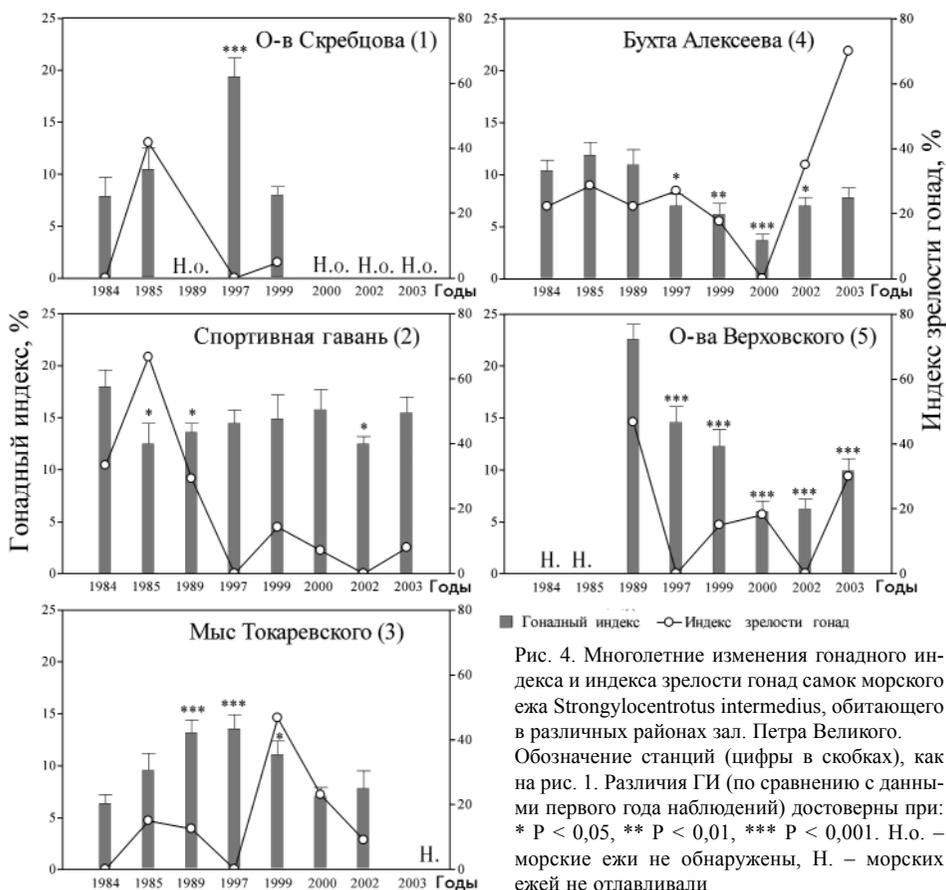


Рис. 4. Многолетние изменения гонадного индекса и индекса зрелости гонад самок морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*, обитающего в различных районах зал. Петра Великого. Обозначение станций (цифры в скобках), как на рис. 1. Различия ГИ (по сравнению с данными первого года наблюдений) достоверны при: \*  $P < 0,05$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*\*\*  $P < 0,001$ . Н.о. – морские ежи не обнаружены, Н. – морских ежей не отлавливали

дований, достоверное (но не очень большое) снижение этого показателя зарегистрировано в 1985, 1989 и 2002 гг. У морских ежей со станции 3 отмечены низкие значения ГИ в 1984 и 1985 гг., в 1989, 1997 и 1999 гг. отмечено достоверное повышение этого показателя, а в 2000 и 2002 гг. он вновь снизился. Для морских ежей с островных станций 4 и 5 характерно достоверное понижение значений ГИ в 1990-е и 2000-е годы, по сравнению с данными 1980-х годов. Однако на станции 4 в 2003 г. эта разница была недостоверной.

Многолетняя динамика значений ГИ у самцов была почти такой же, как у самок. Основываясь только на анализе ГИ, однозначного вывода о динамике состояния репродуктивной функции морского ежа сделать нельзя. Развитие гонады *S. intermedius*, как уже упоминалось выше, носит циклический характер. Гистологический анализ гонад морских ежей позволил получить ценную информацию о клеточном составе половых желез, степени их зрелости и наличии гистопатологических изменений в них.

Многолетняя динамика ИЗГ морского ежа *S. intermedius* была различной на разных станциях и у разных полов животных. Самцы со зрелыми гонадами встречались во всех выборках, и их доля в большинстве случаев была достаточно высокой и в пригородной, и в островной зонах. В 1980-е годы ИЗГ составлял 40–70 % у животных со станций 1–3 и 50–75 % со станций 4 и 5. В 1997 и 1999 гг. зарегистрировано резкое снижение этого показателя (0–18 %) на пригородных станциях 1–3 (за исключением станции 3 в 1999 г.). В 2000 и 2002 г. самые низкие значения ИЗГ (15–22 %) зарегистрированы на островных станциях 4 и 5. В 2003 г. эти значения были высокими (45–80 %) на всех станциях.

Доля самок со зрелыми гонадами была гораздо ниже (рис. 4). Высокие значения ИЗГ (около 70 %) зарегистрированы лишь дважды, в 1985 г. на станции 2 и в 2003 г. на станции 4. В 1980-е годы наиболее низкая степень зрелости женских гонад была характерна для морских ежей со станции 3, а с 1997 по 2003 г. – со станций 1 и 2. На островной станции 5 в этот период степень зрелости женских гонад была также значительно ниже, чем в 1989 г. Для животных со станции 4 степень зрелости женских гонад с 1984 по 1999 г. была относительно стабильной (ИЗГ – 20–25 %); в 2002 и 2003 гг. отмечено увеличение этого показателя.

Гистологический анализ показал, что низкая степень зрелости гонад морских ежей в 1980-е и 1990-е годы была связана не с прошедшим недавно нерестом (животных на посленерестовой стадии репродуктивного цикла было менее 10 %), а с тем, что более 50 % находились на ранних стадиях репродуктивного цикла – половой инертности и начала развития. Об отсутствии массового нереста в августе свидетельствуют также достаточно высокие значения ГИ. Исключением является 2000 г.: прошедшие в первой половине августа несколько тайфунов способствовали усилению гидродинамической активности и опреснению, что, видимо, стимулировало ранний нерест морских ежей – доля отнерестившихся самок на станциях 3, 4 и 6 составила 31, 56 и 27 % соответственно. Этот фактор обусловил очень низкие значения ГИ и ИЗГ у самок морского ежа на этих станциях (рис. 3); величины ГИ и особенно ИЗГ у самцов здесь же были выше (18–42 %). В то же время у морских ежей обоих полов со станции 2 значения ГИ были высокими (около 15 %), тогда как степень зрелости гонад у самцов и самок различалась: у самок она была очень низкой (8 %), а у самцов – 33 %. Следует еще раз отметить, что в августе 2000 г. и в последующие годы наблюдений нам не удалось найти морских ежей на станции 1.

Значительная межгодовая изменчивость значений ГИ и ИЗГ гонад морских ежей и низкая степень зрелости женских гонад в сезон размножения свидетельствуют о воздействии неблагоприятных факторов среды на животных: неоптимальные

температура и соленость воды, недостаток пищи, загрязнение среды обитания [3, 12, 16]. Однако межгодовой изменчивостью температурных, гидрохимических (опреснение воды) и гидродинамических условий обитания морского ежа *S. intermedius* в прибрежной зоне Амурского залива нельзя объяснить всю вариабельность исследованных показателей состояния гонад этого вида. Так, погодные условия летних сезонов 1997 и 2003 гг. были сходными (холодное и засушливое лето). Однако степень зрелости гонад, особенно женских, была существенно ниже в 1997 г. В 2002 г., летние месяцы которого характеризовались умеренной циклонической активностью, состояние гонад (особенно женских) морских ежей в пригородной зоне (станции 2 и 3) и на островной станции 5 не отличалось существенно от такового в 2000 г. Нельзя объяснить изменчивостью вышеперечисленных факторов высокий ГИ и чрезвычайно низкую степень зрелости женских гонад морских ежей, обитающих в районе Спортивной гавани (станция 2), в период с 1997 по 2003 г.

На развитие гонад большое влияние оказывает обеспеченность пищей. У морских ежей, питающихся в основном бурыми или зелеными водорослями, ГИ выше, чем у ежей, питающихся морскими травами [19, 20]. *S. intermedius* наиболее активно употребляют бурую водоросль *Laminaria sichorioides*, несколько меньше – зеленую водоросль *Ulva fenestrata* и наименее интенсивно – морскую траву *Zostera marina* [13]. В 1980-е годы основной пищей морских ежей со станций 2 и 5 служила ламинария. Возможно, это обусловило высокие значения ГИ. Однако в последующие годы, по нашим наблюдениям, количество ламинарии на станции 5 заметно уменьшилось, а качество ухудшилось; возможно, с этим связано снижение ГИ у животных с этой станции (рис. 4). Пищей для животных со станций 1, 3 и 4 в 1980-е годы являлись главным образом ульва и zostера. В 1990-е годы произошло заметное сокращение пояса zostеры и количества ульвы в бухте Алексеева (станция 4). Вероятно, уменьшение в рационе морских ежей с этой станции доли макрофитов и увеличение доли такой малокалорийной пищи, как обрастание, обусловили достоверное снижение ГИ у обоих полов. Тем не менее морские ежи на исследованных станциях не голодают – их кишечники наполнены пищей. Кроме того, по данным экспериментальных и полевых исследований, низкокалорийный рацион, достоверно снижая ГИ, практически не влияет на процессы развития половых клеток в мужских и женских гонадах. Лишь длительное и полное голодание способно затормозить гаметогенез.

Одним из вероятных факторов, способных оказывать влияние на гаметогенез морских ежей, является соленость воды. Оптимальная соленость для *S. intermedius* – 26–32 ‰ [1, 18]. Мы не располагаем данными о солености воды в Амурском заливе за весь период исследований. Однако, по многолетним данным [15], даже в самые дождливые годы придонные воды северной и южной частей Амурского залива, удаленных от устьев рек, в летний период характеризовались высокими среднемесячными значениями солености (> 26 ‰), хотя иногда на отдельных станциях в северной части залива соленость воды понижалась до 25–22 ‰. В южной части колебания солености придонных вод были гораздо менее выражены – от 28 до 33 ‰. Из исследованных нами станций лишь 1-я (о-в Скребцова) расположена в северной части залива, станции 2 и 3 – в юго-восточной части, 4 и 5 – в открытой, наименее подвергнутой опреснению части. Вероятно, что существенное опреснение придонного слоя воды в районе станции 1 летом 2000 г., в период сильных ливней, могло оказать негативное воздействие на бентосных животных и привести к массовой гибели некоторых видов, в том числе *S. intermedius*. В других исследованных нами районах колебания солености придонных вод не столь значительны, чтобы оказать существенное влияние на состояние гонад морских ежей.

Мы полагаем, что основным негативным экологическим фактором в Амурском заливе является загрязнение среды. В 1999, 2000 и 2002 гг. на станциях 1–5 одновременно с морскими ежами мы отбирали пробы поверхностных донных осадков и анализировали их на содержание тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cr). Показано, что уровень содержания тяжелых металлов в осадках на станциях 1–4 был в 1,2–18 раз выше, чем на станции 5 [4, 11]. Наиболее загрязнены осадки на станциях 2 и 3. В 1999–2002 гг. концентрации Fe, Mn, Zn и Cu в осадках пригородной зоны практически не отличались от концентраций этих металлов, зарегистрированных в 1980–начале 1990-х годов [17, 23].

В 2002 г. пробы осадков были проанализированы на содержание углеводородов нефти (НУ), хлорорганических пестицидов ДДТ и гексахлорциклогексана (ГХЦГ) (анализы сделаны в Приморском центре мониторинга загрязнения окружающей среды по стандартным методикам). Наивысшая концентрация НУ – 240 мкг/г сухой массы – обнаружена на станции 2 (см. таблицу). Это в 2 раза выше максимального естественного (фоновое) уровня (100 мкг/г сухой массы). На других станциях концентрации НУ были близки к этой величине или ниже ее. ГХЦГ был обнаружен в осадках практически на всех станциях, но в основном в незначительных концентрациях. Существенное содержание ГХЦГ (7,4 нг/г сухой массы) обнаружено в осадках на станции 2.

**Концентрации нефтеуглеводородов (мкг/г сухой массы),  $\alpha$ - и  $\gamma$ -изомеров ГХЦГ, ДДТ и его метаболитов ДДД и ДДЕ (нг/г сухой массы) в донных осадках из разных районов зал. Петра Великого в 2002 г.**

Станция	НУ	$\gamma$ -ГХЦГ	$\alpha$ -ГХЦГ	$\Sigma$ ГХЦГ	ДДТ	ДДД	ДДЕ	$\Sigma$ ДДТ	ДДТ/ДДЕ
1	50	0,0	0,1	0,1	3,4	0,3	0,5	4,2	6,5
2	240	0,4	6,4	7,4	8,3	29,5	9,3	47,1	0,89
3	130	0,2	0,0	0,2	9,1	0,4	1,9	11,4	4,79
4	100	0,1	0,2	0,3	4,5	0,0	0,5	5,0	9,0
5	70	0,0	0,0	0,0	9,6	0,5	1,4	11,5	6,86

Суммарное содержание ДДТ и его метаболитов ДДД и ДДЕ ( $\Sigma$ ДДТ) в донных осадках на станциях 1–5 варьировало от 4,2 до 47,1 нг/г сухой массы; максимальная концентрация найдена на станции 2. Интересно, что практически во всех районах в составе  $\Sigma$ ДДТ преобладал «свежий» ДДТ – он составлял от 81 до 90 %, лишь на станции 2 его доля составила всего 17,6 %. Важно также отметить, что в осадках со станции 5, наиболее удаленной от города и расположенной в Уссурийском заливе, обнаружено высокое содержание ДДТ, сравнимое с таковым на станции 3 в Амурском заливе.

Концентрации ДДТ в осадках со станций 2, 3 и 5 выше концентраций, вызывавших, по данным многочисленных исследований, в 30–50 % случаев негативные биологические эффекты [22]. В последние годы возрос интерес экотоксикологов к ДДТ и его метаболитам как к веществам, способным действовать на организм животных подобно половым стероидным гормонам и вызывать различные нарушения репродуктивной функции. В связи с этим следует отметить, что многолетний мониторинг состояния репродуктивной функции *S. intermedius* в зал. Петра Великого выявил существенные патологические изменения в гонадах и ухудшение качества потомства у животных из пригородной зоны во все годы исследований, а в конце 1990–начале 2000-х годов эти явления были зарегистрированы и у животных из островной зоны [5, 7]. Чрезвычайно низкая степень зрелости женских гонад морских ежей со станции 2 в августе 2000 г., накануне массового нереста, свидетельствует о вероятном сдвиге сроков нереста либо о его отсутствии.

## Сезонная динамика состояния гонад

Для проверки высказанного предположения исследовалась сезонная динамика состояния гонад морского ежа, обитающего на 3 станциях (рис. 1): Спортивная гавань (2), бухта Алексеева (4) и о-в Рейнеке (6). Спортивную гавань выбрали в качестве импактного района. Для сравнения была определена станция у западного побережья о-ва Рейнеке; по данным химического мониторинга 2001 г., на ней зарегистрирован минимальный уровень загрязнения донных осадков [11]. Станция 4 была выбрана как дополнительная контрольная, после того как были получены первые неожиданные результаты.

На рис. 5 представлены данные о сезонной динамике ГИ и ИЗГ у самок морского ежа. К нашему удивлению, в выборке морских ежей со станции 2, отобранной в мае, была высока доля животных со зрелыми гонадами: ИЗГ около 70 %. В июне значения ГИ и ИЗГ значительно снизились. Это доказывает, что животные отнерестились. В июле значения ГИ вновь выросли и оставались очень высокими до ноября. Однако доля самок со зрелыми гонадами была очень низкой – 8 % в августе. Не произошло достоверного снижения ГИ осенью, что свидетельствует об отсутствии осеннего пика нереста.

В выборке морских ежей со станции 6 в мае доля самок со зрелыми гонадами составила около 20 %, и небольшое, но достоверное снижение гонадного индекса, а также снижение ИЗГ до нуля отмечены в июне–начале июля. В июле значения ГИ вновь увеличились. Второй пик зрелости гонад отмечен в третьей декаде августа, это подтверждают высокие значения ИЗГ. В конце сентября отмечено достоверное снижение ГИ и ИЗГ, и еще более значительное снижение этих показателей зарегистрирова-

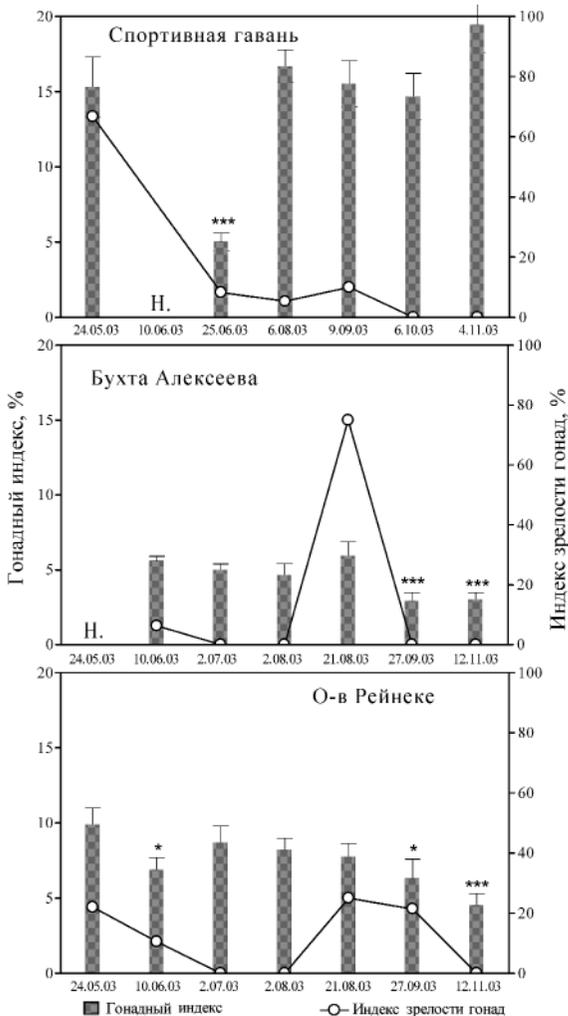


Рис. 5. Сезонные изменения гонадного индекса и индекса зрелости гонад самок морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* из трех районов зал. Петра Великого  
Различия ГИ (по сравнению с данными первого месяца наблюдений) достоверны при: \*  $P < 0,05$ , \*\*\*  $P < 0,001$ . Н. – морских ежей не отлавливали

но в первой половине ноября. Это свидетельствует о выраженном осеннем пике нереста.

Исследование сезонных изменений гонад морских ежей со станции 4 начато 10 июня. На протяжении июня, июля и августа значения ГИ достоверно не различались. В третьей декаде августа зарегистрированы максимальные значения ИЗГ. Резкое снижение гонадного индекса и ИЗГ в конце сентября и ноябре свидетельствует о выраженном осеннем пике нереста.

Из анализа сезонной динамики ГИ и ИЗГ мужских гонад морских ежей с двух островных станций следует, что период нереста у самцов более растянут: существенное снижение показателей у морских ежей со станции 6 зарегистрировано с июня по ноябрь, у ежей со станции 4 – с августа по ноябрь. При этом осенний пик нереста выражен достаточно четко. У морских ежей со станции 2 выражен только весенний (раннелетний) пик нереста, о чем свидетельствуют и достоверное снижение ГИ, и резкое уменьшение ИЗГ. В сентябре, октябре и ноябре значения ГИ и ИЗГ у самцов были высокими, однако осенний пик нереста отсутствовал.

Таким образом, результаты анализа сезонной динамики гонад морского ежа *S. intermedius* из Амурского залива не укладываются в традиционные, основанные на данных исследований 1970–1980 гг. [9, 12, 16], представления о сроках размножения этого вида в зал. Петра Великого. Сдвиг сроков нереста морского ежа, обитающего в пригородной зоне, с осени на раннелетний период, на наш взгляд, можно объяснить хроническим антропогенным загрязнением залива.

## Заключение

Полученные в ходе многолетних исследований факты позволяют сделать вывод о том, что уровень загрязнения донных осадков зал. Петра Великого вблизи Владивостока негативно влияет на репродуктивную функцию одного из массовых видов бентосных животных – морского ежа *S. intermedius*. Крайне нестабильная экологическая ситуация сложилась во внутренней части Амурского залива, подверженной стоку р. Раздольная и испытывающей, помимо интенсивного антропогенного пресса, значительные колебания естественных абиотических факторов среды – солености и температуры. Неоптимальные значения этих факторов усиливают негативные эффекты загрязняющих веществ на морские организмы, что, видимо, приводит к массовой гибели некоторых видов. За время исследований (1984–2003 гг.) в 1989 г. и с 2000 по 2003 г. зарегистрировано отсутствие на станции 1 морского ежа *S. intermedius*.

Наибольшего внимания заслуживает факт недавнего (2001–2002 гг.) поступления «свежего» ДДТ в экосистему зал. Петра Великого, причем не только в пригородную, но и в островную зону. Этот высокотоксичный пестицид нарушает гормональную регуляцию репродуктивной функции животных. Не исключено, что значительная межгодовая изменчивость значений гонадного индекса и индекса зрелости гонад морских ежей, низкая степень зрелости женских гонад в сезон размножения и сдвиг сроков нереста морского ежа, обитающего в пригородной зоне, с осени на раннелетний период обусловлены главным образом действием ДДТ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бажин А.Г. Видовой состав, условия существования и распределение морских ежей рода *Strongylocentrotus* морей России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: Ин-т биологии моря ДВНЦ АН СССР, 1985. 26 с.

2. Бирюлина М.Г. Распределение и запасы морских ежей *Strongylocentrotus nudus* и *Strongylocentrotus intermedius* в заливе Петра Великого (Японское море) // Гидробиологические исследования в Японском море и Тихом океане. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 102–113.
3. Ващенко М.А., Жадан П.М. Влияние загрязнения морской среды на воспроизводство морских донных беспозвоночных // Биология моря. 1995. Т. 21, № 6. С. 369–377.
4. Ващенко М.А., Жадан П.М., Слинко Е.Н. Гонадный индекс, степень зрелости и микроэлементный состав гонад морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*, обитающего в условиях загрязнения (Амурский залив Японского моря) // Прибрежное рыболовство – XXI век: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Южно-Сахалинск: Сахалин. кн. изд-во, 2002. С. 117–128.
5. Ващенко М.А., Жадан П.М., Латыпова Е.В. Многолетние изменения в состоянии гонад морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* из Амурского залива Японского моря // Экология. 2001. Т. 32, № 5. С. 358–364.
6. Ващенко М.А., Жадан П.М., Медведева Л.А. Нарушение развития личинок морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* из загрязненных районов залива Петра Великого Японского моря // Биология моря. 1994. Т. 20, № 2. С. 137–147.
7. Ващенко М.А., Жадан П.М. Нарушение развития потомства морского ежа как показатель загрязнения среды // Экология. 2003. Т. 34, № 6. С. 1–7.
8. Ващенко М.А., Жадан П.М., Карасева Е.М., Лукьянова О.Н. Нарушение репродуктивной функции морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* в загрязненных районах залива Петра Великого Японского моря // Биология моря. 1993. Т. 19, № 1. С. 57–66.
9. Гнездилова С.М. Морфологическая и цитохимическая характеристика оогенеза и половых циклов у морских ежей *Strongylocentrotus nudus* и *S. intermedius*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: Ин-т биологии моря ДВНЦ АН СССР, 1971. 24 с.
10. Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 г. Экологическая программа. Ч. 2. Владивосток: Дальнаука, 1992. 276 с.
11. Жадан П.М., Ващенко М.А., Альмяшова Т.Н., Слинко Е.Н. Оценка экологической ситуации в прибрежной зоне залива Петра Великого в 1999–2001 гг. по биологическим и биогеохимическим показателям // Вестн. ДВО РАН. 2003. № 2. С. 56–65.
12. Касьянов В.Л. Репродуктивная стратегия морских двусторчатых моллюсков и иглокожих. Л.: Наука, 1989. 184 с.
13. Левин В.С., Найдено Т.Х., Туркина Н.А. Интенсивность питания морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* в экспериментальных условиях // Исследования иглокожих дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. С. 56–82.
14. Огородникова А.А., Вейдеман Е.Л., Силина Э.И., Нигматулина Л.В. Воздействие береговых источников загрязнения на биоресурсы залива Петра Великого (Японское море) // Экология нектона и планктона дальневосточных морей и динамика климато-океанологических условий. 1997. С. 430–450. (Изв. ТИНРО; Т. 122).
15. Подорванова Н.Ф., Ивашинникова Т.С., Петренко В.С., Хомичук Л.С. Основные черты гидрохимии залива Петра Великого (Японского моря). Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 201 с.
16. Хотимченко Ю.С., Деридович И.И., Мотавкин П.А. Биология размножения и регуляция гаметогенеза и нереста у иглокожих. М.: Наука, 1993. 168 с.
17. Христофорова Н.К., Шулькин В.М., Кавун В.Я., Чернова Е.М. Тяжелые металлы в промысловых и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука, 1993. 296 с.
18. Ярославцева Л.М., Сергеева Э.П. Влияние опреснения на разные стадии морских ежей рода *Strongylocentrotus* // Биология моря. 1991. № 6. С. 47–52.
19. Beddingfield S.D., McClintock J.B. Differential survivorship, reproduction, growth and nutrient allocation in the regular echinoid *Lyttechinus variegatus* (Lamarck) fed natural diets // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1998. Vol. 226, N 2. P. 195–215.
20. Keats D., Steel D. Depth-dependent reproductive output of the green sea urchin *Strongylocentrotus dröbachiensis* (O.F. Muller) in relation to the nature and availability of food // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1984. Vol. 80. P. 77–91.
21. Kobayashi N. Bioassay data for marine pollution using echinoderms // Encyclopedia of environmental control technology. Houston: Gulf Publ. Co., 1995. Vol. 9. P. 539–609.
22. Long E.R., MacDonald D.D., Smith S.L., Calder F.D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // Environ. Management. 1995. Vol. 19. P. 81–97.
23. Tkalin A.V., Presley B.J., Boothe P.N. Spatial and temporal variations of trace metals in bottom sediments of Peter the Great Bay, the Sea of Japan // Environ. Poll. 1996. Vol. 92. P. 73–78.
24. Vaschenko M.A., Syasina I.G., Zhadan P.M., Medvedeva L.A. Reproductive function state of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* Jay from polluted areas of Peter the Great Bay, Sea of Japan // Hydrobiologia. 1997. Vol. 352. P. 231–240.