

УДК 593.953–574.5:628,5

ВОЗДЕЙСТВИЕ СТОКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПОЛОВУЮ СТРУКТУРУ И ИЗМЕНЕНИЕ ГОНАДНОГО ИНДЕКСА У ПРАВИЛЬНЫХ МОРСКИХ ЕЖЕЙ *STRONGYLOCENTROTUS DROEBACHIENSIS* (O.F. MULLER) В АВАЧИНСКОЙ ГУБЕ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

А. Г. Бажин, Е. А. Арhipова



Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18
Тел., факс: (415-2) 41-27-01; (415-2) 42-59-53; (415-2) 42-19-30
E-mail: bazhin@kamniro.ru; arhipova@kamniro.ru

ПРАВИЛЬНЫЙ МОРСКОЙ ЕЖ, ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА, ГОНАДНЫЙ ИНДЕКС

Исследования, проведенные в течение семи лет (1984–1991 гг.) в восточной части Авачинской губы (юго-восточное побережье Камчатки), в районе мыса Чавыча (бухта Сероглазка), расположенном недалеко от места стоков городских очистных сооружений, показали, что у морских ежей *Strongylocentrotus droebachiensis* отмечено смещение соотношения полов в сторону увеличения количества самок. Гонадный индекс животных в среднем за весь период исследований достигал $17,1 \pm 1,1\%$.

INFLUENCE OF WASTE WATERS ON GONAD INDICES AND SEXUAL STRUCTURE OF THE POPULATION OF REGULAR SEA URCHINS *STRONGYLOCENTROTUS DROEBACHIENSIS* (O.F. MULLER) IN THE AVACHA BAY (EASTERN KAMCHATKA)

A. G. Bazhin, E. A. Arhipova

Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberejnaya, 18
Tel., fax: (415-2) 41-27-01; (415-22) 42-59-53; (415-2) 42-19-30
E-mail: bazhin@kamniro.ru; arhipova@kamniro.ru

REGULAR SEA URCHIN, SEX RATIO, GONAD INDEX

An increase of the percent of female sea urchins *Strongylocentrotus droebachiensis* has demonstrated in the studies carried out for the period of seven years (1984–1991) in the east part of Avachinskaya Bay (the south-east coast of Kamchatka) near the cape Tschavytscha (Seroglazka Bay) situated not far from the outflows from the sewage purification structures. Averaged individual gonad index for the observation period reached $17.1 \pm 1.1\%$.

Правильные морские ежи *S. droebachiensis* повсеместно распространены на шельфе Восточной Камчатки (Арhipова, 1991; Бажин, 1986, 1987, 1995, 2005; Ошурков и др., 1989). В Авачинской губе наиболее массовые скопления ежей приурочены к мелководным участкам с более континентальным режимом на твердых и смешанных грунтах (Бажин и др., 1990). Вопросам, связанным с биологией развития и размножения *S. droebachiensis*, обитающих в разных ареалах, посвящена обширная литература (Милейковский, 1970; Овчинников, 1988; Himmelman, 1978; Thompson, 1982; Strathmann, 1981; и др.). Динамика развития половых клеток морских ежей из поселений у берегов Камчатки изложена в немногочисленных источниках (Арhipова, 1991; Арhipова, Яковлев, 1994; Бажин и др., 1990). Усиливающийся в последние годы антропогенный пресс на прибрежные экосистемы, в особенности в Авачинской губе, диктует настоятель-

ную необходимость получения информации о состоянии гонад и соотношении полов у морских ежей *S. droebachiensis* в зависимости от проявления внешних факторов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор морских ежей производился водолазами с помощью легководолазной техники в восточной части Авачинской губы (юго-восточное побережье Камчатки) в 1984–1991 гг. в районе м. Чавыча (б. Сероглазка), расположенном у городской черты недалеко от места стоков очистных сооружений. Описание грунта и подводных ландшафтов осуществлялось водолазами. Глубина определялась с помощью глубиномера, и в местах сбора материала составляла 3–5 метров. В каждой пробе после предварительного определения видовой принадлежности животных их фиксировали в формалине для дальнейшей обработки. Диаметр панци-

ря морских ежей измеряли штангенциркулем с точностью до 0,1 мм.

Для определения состояния гонад ежей у каждой особи индивидуально измеряли общую массу тела и массу гонад в граммах. Гонадный индекс рассчитывали как отношение массы гонад к общей массе ежа, выраженное в процентах. Выборочно производили гистологическую обработку гонад по стандартной методике. Соотношение полов в исследуемых поселениях морских ежей определяли по мазкам, приготовленным с гонад живых животных, и по гистологическим препаратам при помощи светового микроскопа марки «ERGAVAL». При статистической обработке материала был выбран 95%-й уровень доверительного интервала (\pm). Данные по солености, концентрации загрязняющих веществ в 1990–1991 гг. в Авачинской губе были любезно предоставлены Камчатской гидрохимической лабораторией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В восточной части Авачинской губы в районе м. Чавыча (б. Сероглазка) среднемесячная температура воды летом (июль–август) составляет $+13^{\circ}\text{C}$, а зимой (февраль–март) — $+1,2\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ (Ошурков и др., 1989). Соленость летом изменяется от 10‰ до 25‰ в течение суток, зимой она постоянна и составляет около 30‰. Ледовый припай кратковременный и бывает только в самое холодное время года (январь–февраль). Грунт в этом районе представлен плитняком с илистым песком и ракушей. Антропогенное влияние, которое обусловлено близ-

ким расположением крупного морского порта и места стока городских очистных сооружений, довольно велико.

Исследования, проведенные в Авачинской губе в районе стока городских очистных сооружений, показали, что за период с 1984 г. по 1991 г. средний диаметр панциря морских ежей *S. droebachiensis* составил $60,6\pm 1,3$ мм (табл. 1). Наши данные согласуются с литературными (Морозов, 1981), где указывается, что диаметр панциря морских ежей рода *Strongylocentrotus* зависит от характера грунта и на илистом галечнике достоверно выше. Исследования, проведенные в морях России, показали статистически достоверную корреляцию между факторами среды, такими как глубина обитания и степень прибойности и морфологическими характеристиками морских ежей рода *Strongylocentrotus* — формой, толщиной и максимальным диаметром панциря, а также характером игольного покрова (Бажин, Степанов, 2002). Степень прибойности в районе м. Чавыча является минимальной (кутовая часть закрытой бухты), и именно это, а также обилие доступных пищевых ресурсов, обуславливает крупный размер особей, диаметр большинства которых приближается к предельному для данного вида. *S. droebachiensis* проявляет разнообразие адаптационных возможностей широко распространенного вида, типично обитающего в верхних горизонтах сублиторали, где факторы среды варьируют в широком диапазоне в зависимости от широтного расположения биотопа, и способен выживать в самых, казалось бы, неблаго-

Таблица 1. Изменение диаметра панциря, общего веса тела и гонадного индекса у морских ежей *S. droebachiensis* из поселения в районе м. Чавыча (Авачинская губа) в 1984–1991 гг.

Дата исследования	Диаметр панциря (мм)	Общий вес тела (г)	Гонадный индекс (%)
Середина мая 1984 г.	$61,6\pm 0,9$	$101,8\pm 3,4$	$22,7\pm 0,9$
Середина июля 1984 г.	$62,4\pm 1,2$	$101,7\pm 4,6$	$24,9\pm 1,6$
Середина августа 1984 г.	$62,1\pm 0,8$	$95,5\pm 3,6$	$18,9\pm 1,5$
Середина сентября 1984 г.	$56,1\pm 1,5$	$72,8\pm 5,1$	$24,6\pm 1,2$
Конец сентября 1984 г.	$62,2\pm 1,2$	$101,4\pm 5,4$	$13,2\pm 1,1$
Конец октября 1984 г.	$63,2\pm 0,9$	$102,6\pm 3,8$	$18,3\pm 2,1$
Начало января 1985 г.	$65,1\pm 1,5$	$96,1\pm 4,6$	$15,4\pm 1,8$
Начало апреля 1985 г.	$64,3\pm 0,9$	$108,5\pm 4,3$	$16,4\pm 1,2$
Начало июня 1985 г.	$60,1\pm 0,9$	$89,9\pm 3,3$	$16,7\pm 1,1$
Середина октября 1987 г.	$62,2\pm 1,1$	$98,5\pm 4,3$	$8,5\pm 0,5$
Середина ноября 1987 г.	$62,4\pm 1,4$	$102,9\pm 5,8$	$15,8\pm 0,7$
Конец марта 1989 г.	$63,9\pm 1,4$	$95,3\pm 5,6$	$11,2\pm 0,7$
Середина июля 1989 г.	$63,9\pm 1,4$	$102,3\pm 5,7$	$12,0\pm 1,2$
Начало июля 1990 г.	$56,2\pm 1,4$	$64,1\pm 4,2$	$22,1\pm 0,9$
Середина июля 1990 г.	$58,7\pm 1,9$	$75,4\pm 6,4$	$21,1\pm 0,9$
Конец августа 1990 г.	$57,6\pm 1,4$	$68,4\pm 4,9$	$11,3\pm 0,7$
Конец декабря 1990 г.	$53,6\pm 1,9$	$60,8\pm 5,3$	$15,1\pm 1,1$
Середина января 1991 г.	$55,3\pm 1,9$	$60,6\pm 6,2$	$18,9\pm 0,8$
Среднее значение	$60,6\pm 1,3$	$88,9\pm 4,8$	$17,1\pm 1,1$

приятных для него условиях (Бажин, 1995, 2005; Бажин, Степанов, 2002).

В исследованном поселении ежей соотношение полов не зависело от диаметра панциря животных. Отсутствие этой закономерности наблюдалось как в обычных поселениях изучаемого вида, так и в поселениях морского ежа *S. polyacanthus*, широко распространенного вдоль побережья Восточной Камчатки (личные наблюдения). Аналогичная картина также отмечена у морского ежа *Sphaerechinus granularis* (Lam.) из поселений в Алжирском заливе (Semroud, Senoussi, 1989).

Результаты наших работ показали, что у правильных морских ежей *S. droebachiensis* средние значения общего веса тела и гонадных индексов животных были высокими и находились в зависимости от производства и роста половых клеток (табл. 1). Гонадный индекс животных в среднем за весь период исследований достиг $17,1 \pm 1,1\%$. В других поселениях этого вида такое высокое значение данного показателя характерно лишь для преднерестового состояния *S. droebachiensis*, которое в прикамчатских водах наблюдается в конце лета (Архипова, Яковлев, 1994). Гистологические данные показали, что на протяжении всего исследованного периода, круглогодично, в гонадах самок морских ежей имели место крупные, зрелые половые клетки. Аналогично этому гонады самцов морских ежей также демонстрировали зрелое преднерестовое состояние в течение всего периода исследований, которое ярко выражалось в постоянном истечении спермы (так называемая «текучесть» гонад). Это явление является уникальным, так как обычно в образовании, развитии и вымете половых клеток у морских ежей ярко выражена сезонность этого процесса (Himmelman, 1978; Hagen, 2008).

Исходя из этого не исключено, что у ежей из поселения в районе м. Чавыча созревание и последующее оплодотворение более крупных яйцеклеток в нерестовый период может привести к появлению более жизнестойких личинок. Так, для морских ежей *Paracentrotus lividus* было отмечено, что из крупных яиц выходят крупные личинки, у которых выживаемость выше, и развитие происходит более быстрыми темпами (Sopfle et al., 1989). По-видимому, образование в гонадах самок крупных половых клеток в течение года связано с обилием пищевого материала в месте сбросов богатых органикой сточных вод и формированием значительного слоя детрита, который, наряду с макрофитами, может служить источником пищи для морских ежей. Бурые водоросли, служащие

основным источником пищевых ресурсов для морских ежей, весьма устойчивы к неблагоприятным условиям среды обитания и способны существовать при высоком уровне загрязнения (Селиванова, 1996). Из литературы известно, что темп роста гамет и их производство возрастают с увеличением пищевых ресурсов (Thompson, 1982). Не исключено, что большое количество водорослей вместе с детритом в районе м. Чавыча оказывают благоприятное влияние на существование морских ежей, несмотря на высокий уровень загрязнения.

Анализ половой структуры морских ежей из поселения животных в районе м. Чавыча показал, что во все сроки исследования соотношение полов приближалось к соотношению 1:2 и 1:3 в сторону увеличения количества самок (табл. 2). Известно, что соотношение самцов и самок в популяциях морских ежей *S. droebachiensis*, обитающих в оптимальных условиях, равно 1:1, и пространственно представители обоих полов не разобщены (Холодов, 1981; личные наблюдения). Однако на *Sphaerechinus granularis* (Lam.) из поселений в Алжирском заливе было показано, что на сильно загрязненном под воздействием морского порта скалистом субстрате преобладали самки (Semroud, Sinoussi, 1989). Таким образом, результаты наших исследований согласуются с тем, что в популяции морских ежей, обитающей в акватории, находящейся под влиянием сточных вод, происходит относительное увеличение количества самок.

Увеличение количества самок в акватории, подверженной интенсивной хозяйственной деятельности, по-видимому, может привести к тому, что от большего количества самок в окружающую среду будет выметано и большее количество зрелых

Таблица 2. Половая структура *S. droebachiensis* из поселения у м. Чавыча в Авачинской губе (Восточная Камчатка) в 1984–1990 гг.

Дата исследований	Кол-во особей в выборке (экз.)		Соотношение полов в выборке (самцы:самки)
	Самцы	Самки	
Середина мая 1984 г.	11	34	1:3
Середина июля 1984 г.	10	20	1:2
Конец сентября 1984 г.	17	34	1:2
Конец октября 1984 г.	9	26	1:3
Начало января 1985 г.	6	18	1:3
Начало апреля 1985 г.	8	21	1:3
Середина октября 1987 г.	14	24	1:2
Конец ноября 1987 г.	3	6	1:2
Середина мая 1989 г.	7	22	1:3
Середина июля 1990 г.	10	20	1:2
Конец декабря 1990 г.	8	22	1:3

яйцеклеток. А поскольку сперма морских ежей является наиболее подверженной токсическому воздействию в условиях антропогенного загрязнения (Dinnel, Stober, 1987), то не исключено, что при возможной гибели сперматозоидов животным просто необходимо произвести большее количество яйцеклеток от большего количества самок, чтобы оставшиеся жизнестойкие зрелые гаметы самцов могли участвовать в оплодотворении половых клеток самок. Возможно, такое приспособление морских ежей при долговременном воздействии антропогенного пресса способствует поддержанию популяции *S. droebachiensis* в равновесном состоянии. Ранее было показано, что на модельных экспериментах при длительном воздействии кадмием на морских ежей *S. intermedius* в ацинусах самцов происходят необратимые процессы, связанные с формированием сперматозоидов и вспомогательных элементов гонад (Сяпина, 1989). Причем минимальные концентрации, при которых наблюдается появление аномалий для эмбрионов морского ежа *S. intermedius*, составляют 0,02 мг/л меди (Щеглов и др., 1990). В условиях Авачинской губы в 1990–1991 гг. вдоль восточного побережья губы в местах выпусков сточных вод судоремонтных предприятий концентрация меди превысила 10 мг/л. Однако при таком уровне загрязнения водоема в гонадах *S. droebachiensis* из поселений в Авачинской губе нами видимых негативных изменений обнаружено не было. Возможно, это связано с тем, что в силу интенсивных приливно-отливных течений в акватории Авачинской губы происходит частичный вынос загрязняющих веществ в открытый океан, где происходит их перемешивание с океанической водной толщей. Поэтому концентрации загрязняющих веществ в исследуемых акваториях губы не достигли уровня, оказывающего прямое воздействие и приводящего к деградиационным процессам в половых железах морских ежей. Не исключено, что *S. droebachiensis* более устойчив к токсическому воздействию, чем *S. intermedius*. По-видимому, увеличение количества самок при эвтрофикации водоема может служить критерием оценки состояния среды обитания морских ежей.

Таким образом, в сильно загрязненном районе бухты, подверженном интенсивной хозяйственной деятельности, в поселении морских ежей *S. droebachiensis* значения диаметра панциря, общего веса тела, гонадных индексов животных были достаточно высокими во все сроки исследования. В районе, находящемся под воздействием антропо-

генного пресса, у морских ежей соотношение полов самцы/самки равно 1:2 и 1:3 в сторону увеличения количества самок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам исследований, проведенных в 1984–1991 гг. в районе м. Чавыча (б. Сероглазка), расположенном у городской черты недалеко от места стоков очистных сооружений, и подверженном интенсивной хозяйственной деятельности, в поселении морских ежей *S. droebachiensis* значения диаметра панциря и гонадных индексов животных были достаточно высокими во все сроки исследования. Отмечено смещение соотношения полов в сторону увеличения количества самок. Гонадный индекс животных в среднем за весь период исследований достигал $17,1 \pm 1,1\%$.

ЛИТЕРАТУРА

- Архипова Е.А. 1991. Изменение гонадного индекса у правильных морских ежей рода *Strongylocentrotus* на шельфе Восточной Камчатки // Тез. докл. Всес. конф. «Рацион. использ. биорес. Тихого океана» (Владивосток, 8–10 окт. 1991 г). Владивосток. С. 178–180.
- Архипова Е.А., Яковлев С.Н. 1994. Годовые гонадные циклы морских ежей *Strongylocentrotus polyacanthus* и *S. droebachiensis* в Авачинской губе (Восточная Камчатка) // Биол. моря. Т. 20, № 5. С. 402–404.
- Бажин А.Г. 1986. Морские ежи рода *Strongylocentrotus* шельфа Курильских, Командорских островов, Восточной Камчатки и Берингова моря // Тез. докл. 3-й регион. конф. молодых ученых и специалистов Дальнего Востока «Биол. ресурсы шельфа, их рацион. использ. и охрана» (Южно-Сахалинск, 19–22 окт. 1986 г.). Южно-Сахалинск: ДВНЦ АН СССР. С. 6.
- Бажин А.Г. 1987. К фауне иглокожих Авачинской губы // Исследования иглокожих дальневосточных морей. Владивосток. С. 5–20.
- Бажин А.Г. 1995. Видовой состав, условия существования и распределение морских ежей рода *Strongylocentrotus* морей России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 25 с.
- Бажин А.Г. 2005. Морские ежи *Strongylocentrotus* spp. Камчатки: распределение и влияние промысла // Популяционная биология, генетика и систематика гидробионтов: Сб. науч. тр. Т. 1. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 370–385.

- Бажин А.Г., Ошурков В.В., Архипова Е.А. 1990. Правильные морские ежи шельфа Восточной Камчатки: экология и обилие // Тез. докл. 8-й Всес. конф. по промысловой океанологии «Современ. пробл. промысл. океанологии» (Ленинград, 15–19 окт. 1990). Л.: Ленинград. гидромет. ин-т. С. 38–39.
- Бажин А.Г., Степанов В.Г. 2002. Морфологическая изменчивость некоторых видов морских ежей рода *Strongylocentrotus* в зависимости от факторов среды // Зоол. журн. Т. 81. № 12. С. 1487–1493.
- Милейковский С.А. 1970. Зависимость размножения и нереста морских шельфовых донных беспозвоночных от температуры воды // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. Т. 88. С. 22–32.
- Морозов Н.Н. 1981. Некоторые особенности экологии морских ежей рода *Strongylocentrotus* // Вестн. зоологии. № 6. С. 77–79.
- Овчинников П.Н. 1988. Исследование репродуктивного цикла морского ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* Баренцева моря // Тез. докл. 3-й Всес. конф. по морской биол. «Симп. по онтогенезу морских беспозвон.» (Севастополь, 18–20 окт., 1988 г.). Владивосток: ДВГУ. С. 56.
- Ошурков В.В., Бажин А.Г., Буяновский А.И., Иванюшина Е.А., Стрелков В.И., Ржавский А.В. 1989. Видовой состав и распределение сообществ бентоса в Авачинской губе (Восточная Камчатка) // Гидробиологические исследования в Авачинской губе. Владивосток: ДВО АН СССР. С. 4–14.
- Селиванова О.Н. 1996. Бентосные водоросли, как возможный экологический фактор очистки воды и сохранения морской биоты // Тез. докл. Второго российско-японского симп. «Проблемы экологии и природопользования на Камчатке» (Петропавловск-Камчатский, 22–24 июля 1996 г.). Петропавловск-Камчатский. С. 14–16.
- Сяпина И.Г. 1989. Гистопатологические изменения в семенниках морских ежей при действии кадмием // Тез. докл. 4-й Регион. конф. молодых ученых и спец. Дальнего Востока «Биол. ресурсы шельфа, их рац. использ. и охрана» (Владивосток, 23–25 окт., 1989 г.). Владивосток: ДВО АН СССР. С. 81–82.
- Холодов В.И. 1981. Трансформация органического вещества морскими ежами (Regularia). Киев: Наук. Думка, 160 с.
- Щеглов В.В., Мойсейченко Г.В., Ковековдова Л.Т. 1990. Влияние меди и цинка на эмбрионов, личинок и взрослых особей морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* и трепанга *Stichopus japonicus* // Биол. моря. № 3. С. 55–58.
- Dinnel P.A., Stober Q.J. 1987. Application of the sea urchin sperm bioassay to sewage treatment efficiency and toxicity in marine waters // Mar. Environ. Res. V. 21. № 2. P. 121–133.
- Hagen N.T. 2008. Enlarged lantern size in similar-sized, sympatric, sibling species of Strongylocentrotidae sea urchins: from phenotypic accommodation to functional adaptation for durophagy // Mar. Biol. V. 153. № 5. P. 907–924.
- Himmelman J.H. 1978. Reproductive cycle of the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* // Can. Zool. № 56. P. 1828–1994.
- Semroud R., Senoussi B. 1989. Donneec preliminaires sur l'indice de repletion, l'indice gonadique et le sex-ratio de *Sphaerechinus granularis* (Lam.) (Echinodermata, Echinoidea) de la baie d'Alger: [Pap.] 6 Semin. int. echinodermes, Ile des Embiez, 19–22 oct., 1988 // Vie marine. Hors. ser. № 10. P. 86–94.
- Sophle G., Lucienne F., John L. 1989. Effets du passe alimentaire des parents sur la taille loeuf et developpement larvaire de deux echinides *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus*: [Pap.] 6 Semin. int. echinodermes, Ile des Embiez, 10–20 sept., 1988 // Vie marine. Hors ser. № 10. P. 258.
- Strathmann R.R. 1981. On barriers to hybridization between *Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F. Muller) and *S. pallidus* (O.G.Sars) // J. Exp. Biol. Ecol. V. 55. P. 9–47.
- Thompson R.J. 1982. The relationship between food relation and reproductive efforts in the green sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* // Oecologia (Berlin). № 56. P. 50–57.