

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 574+556+551.464(265.5)

О.Н. Лукьянова^{1,2}, Е.В. Журавель^{2,3}, Д.Н. Чульчиков¹, О.В. Подгурская^{3*}¹ Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Дальневосточный федеральный университет,
690600, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27;³ Институт биологии моря им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690059, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА ОСТРОВА САХАЛИН:
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И БИОТЕСТИРОВАНИЕ**

Проведено исследование экологического состояния прибрежных морских вод в районе северо-восточного побережья о. Сахалин. Распределение солености, растворенного в воде кислорода, фосфатов и кремнекислоты было типичным для данного района в весенний сезон. На основе результатов эмбрионеста с плоским морским ежом *Scaphechinus mirabilis* показано нарушение эмбрионального и личиночного развития тест-объекта в морской воде, отобранной как вблизи побережья, так и в районах нефтесбора. Обсуждается влияние природных (соленость) и антропогенных факторов на качество среды в данном районе.

Ключевые слова: о. Сахалин, нефтесбор, гидрохимический анализ, биотестирование, морские ежи.

Lukyanova O.N., Zhuravel E.V., Chulchekov D.N., Podgurskaya O.V. Assessment of ecological state for the north-eastern shelf of Sakhalin Island: hydrochemical analysis and bioassay // Izv. TINRO. — 2014. — Vol. 177. — P. 182–192.

Results of ecological monitoring in the coastal waters at north-eastern Sakhalin are presented. Spatial patterns of water temperature, salinity, dissolved oxygen content, and concentrations of inorganic phosphate and silicon are described, geostrophic currents are calculated. Abnormalities of early embryogenesis are revealed for the sand dollar *Scaphechinus mirabilis* in the water sampled both at the coast and in the oil-producing areas but not in the areas distanced from the oil wells. Possible influence of natural environments and anthropogenic factors on marine biota in the area of monitoring is discussed: the abnormalities at the coast are possibly caused by low salinity, but those ones in the oil-producing areas have no any natural reasons, so far as salinity, temperature and nutrients concentration in these areas are the same

* Лукьянова Ольга Николаевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: olga.lukyanova@tinro-center.ru; Журавель Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: zhrvl@rambler.ru; Чульчиков Денис Николаевич, младший научный сотрудник, e-mail: chulchekov@pochta.ru; Подгурская Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: olga_pod@mail.ru.

Lukyanova Olga N., D.Sc., leading researcher, e-mail: olga.lukyanova@tinro-center.ru; Zhuravel Elena V., Ph.D., assistant professor, researcher, e-mail: zhrvl@rambler.ru; Chulchekov Denis N., researcher, e-mail: chulchekov@pochta.ru; Podgurskaya Olga V., Ph.D., researcher, e-mail: olga_pod@mail.ru.

as in the open-waters with normal results of the bioassay. Thus, anthropogenic impact on marine biota is detected for the areas of continued oil and gas production on the northeastern shelf of Sakhalin Island.

Key words: Sakhalin Island, oil production, chemical parameter, bioassay, sea urchin.

Введение

Северо-восточный шельф о. Сахалин — хорошо исследованная часть Охотского моря. Ширина шельфа здесь относительно невелика, от 50 до 100 км, что отражается на особенностях гидрологического режима этого района. Он отличается активной гидро- и литодинамикой, во многом определяющей вдольбереговую Восточно-Сахалинским течением (ВСТ), направленным с севера на юг с шириной потока 40–80 миль. В прибрежной части шельфа важнейшую роль в формировании поля течений играют приливы, а на поверхностных горизонтах — ветровые течения (Попудрибко и др., 1998). Муссонный климат острова и режим омывающих его вод подвержены сильной межгодовой изменчивости, с чем связана динамика биоценозов и биологических ресурсов. Донные осадки представлены в основном гравийно-галечными и песчаными отложениями, обуславливающими распределение и структуру бентофауны. На песках доминируют подвижные сестонофаги, преимущественно плоские морские ежи. В целом шельф богат донными животными, биомасса которых в этом районе составляет до 400 г/м² (Кобликов и др., 1990; Belan, Oleyunik, 1997; Надточий и др., 2004). Это традиционный район добычи целого ряда промысловых объектов, к которым относятся краб-стригун опилио, брюхоногие моллюски, а из рыб — навага, сельдь, минтай и лососи. Здесь же расположены поля нагула серого кита.

В настоящее время морская среда в данном районе испытывает постоянное антропогенное воздействие, связанное с добычей нефти и газа на шельфе. Месторождения Пильгун-Астохское (нефтяное с попутным газом) и Лунское (газовое с попутным газоконденсатом) были обнаружены в 1980-х гг., первая товарная нефть получена в 1999 г., а с 2008 г. добыча ведется круглогодично. Работы осуществляются с нескольких морских платформ, которые соединены с берегом трубопроводами (Лысенко, 2011). Производственная активность сказывается на качестве окружающей среды и состоянии биоты. Так, еще в 1998 г. было показано, что разведочное бурение и начало эксплуатации Пильгун-Астохского месторождения еще не привели к увеличению концентраций нефтяных углеводородов и тяжелых металлов в грунтах; в то же время перемещение и изменение качества грунта сказались на видовом составе и плотности поселения бентосных организмов в районе работ (Коновалова, 2003). Биоиндикация с использованием ихтиопланктона в 2002 г. показала значительную долю аномальных личинок камбалы и минтая в районах нефтедобычи (Давыдова, Черкашин, 2007).

Интегральную оценку экологического состояния района можно провести с помощью метода биотестирования, который, в отличие от химического анализа, учитывает синергетические и антагонистические эффекты комплекса поллютантов, присутствующих на конкретном участке акватории. В морях Дальнего Востока России для этих целей удобно использовать эмбрионы и личинки морских ежей, так как на ранних стадиях онтогенеза организмы более восприимчивы к присутствию токсикантов и различным изменениям физико-химических факторов среды. Эмбриональные и личиночные стадии морских ежей выделяются среди морских организмов высокой чувствительностью к действию внешних факторов. Например, эффективная концентрация ЕС₅₀ додецилсульфата натрия для эмбрионов морских ежей *Paracentrotus lividus* в 2,0–2,5 раза ниже, чем для личинок копепод *Tigriopus fulvus*, мальков окуня *Dicentrarchus labrax* и микроводоросли *Dunaliella tertiolecta* (Mariani et al., 2006).

Основные преимущества морских ежей как тест-организмов связаны с возможностью получения большого числа гамет и синхронно развивающихся зародышей; простотой инкубации зародышей в контролируемых условиях; легкостью прижизненных наблюдений и фиксации; возможностью использования любого вида морских ежей, так как чувствительность их половых клеток и зародышей к токсичным веществам прак-

тически одинакова (Kobayashi, 1985). Эмбрионы и личинки морских ежей включены в качестве рекомендуемых тест-объектов в нормативные документы РФ*.

В прибрежной зоне дальневосточных морей широко распространены и пригодны для биотестирования различные виды морских ежей: невооруженный морской еж *Strongylocentrotus nudus*, промежуточный шаровидный морской еж *Strongylocentrotus intermedius*, а также плоские морские ежи *Scaphechinus mirabilis* и *Echinarachnius parma*. На песчаных грунтах северо-восточного шельфа о. Сахалин плоские морские ежи составляют до 90 % общей биомассы сообществ (Кобликов и др., 1990).

Целью работы является оценка качества вод северо-восточного шельфа о. Сахалин по гидрохимическим показателям и с помощью биотестирования с использованием эмбрионов и личинок плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis* (Agassiz, 1863).

Материалы и методы

Пробы воды были отобраны 25–27 мая 2011 г. в экспедиции ТИНРО-центра в Охотское море из поверхностного слоя на 11 станциях, расположенных вдоль восточного побережья о. Сахалин (рис. 1). Пробы были заморожены и хранились при

температуре минус 18–22 °С до начала периода нереста *S. mirabilis* (середина июля), когда было проведено их биотестирование. Возможность проведения биотестирования в пробах воды после замораживания показана ранее (Beiras, Saco-Alvares, 2006). После размораживания соленость в пробах контролировали аргентометрическим методом**.

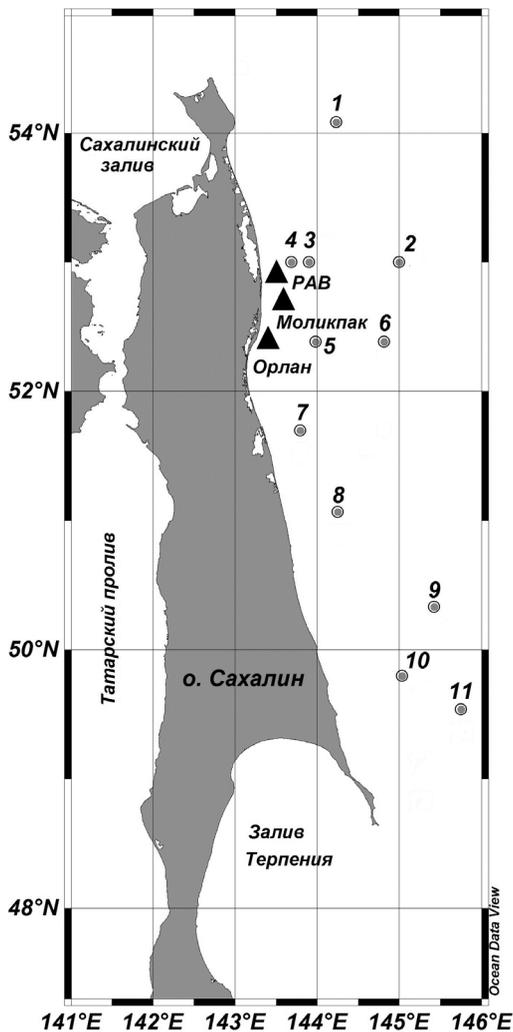


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб воды (1–11). Треугольники — нефтедобывающие платформы

Fig. 1. Scheme of sampling sites. Numerals — sampling stations, triangles — oil-wells

* Временные методические рекомендации по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов загрязняющих веществ для морских вод. М.: Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству, 2003. 114 с.

** Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: ВНИРО, 2003.

Параллельно с отбором проб для биотестирования определяли гидрологические (температура и соленость воды) и гидрохимические показатели (содержание растворенного в воде кислорода, фосфатов и кремниевой кислоты) по стандартным методикам*. Сбор гидрологической информации осуществляли с помощью гидрологического комплекса, включающего в себя гидрологический зонд SBE 25 Sealogger CTD, пробоотборник SBE 32, бортовой блок управления пробоотборником SBE 33. Данная конфигурация обеспечивает сбор по кабель-тросу гидрологической информации в реальном масштабе времени.

Для проведения биотестирования морских ежей *S. mirabilis* собирали в бухте Средней зал. Восток (зал. Петра Великого, Японское море) на глубине 4,0–4,5 м. В контрольном опыте использовали профильтрованную и обработанную ультрафиолетом морскую воду из зал. Восток. Нерест взятых в опыт животных стимулировали введением в перивисцеральную полость 0,2 мл 0,5 М KCl. Яйцеклетки получали и подготавливали к эксперименту по стандартной методике (Бузников, Подмарев, 1975). Для проведения биотестирования использовали методику эмбриотеста, разработанную Н. Кобаяси (Kobayashi, 1977; Кобаяси и др., 1994). Экспозиции в тестируемой воде (1 ч) подвергали как яйцеклетки, так и сперматозоиды. Качество половых клеток предварительно проверяли с помощью оплодотворения и последующего определения доли нормальных зигот. Яйцеклетки с уровнем оплодотворения ниже 95 % не использовали. После оплодотворения нормальных и аномальных эмбрионов и личинок подсчитывали под микроскопом на основных индикаторных стадиях. Опыты проводили в трех повторностях, используя гаметы от трех родительских пар, в каждом опыте просчитывали эмбрионы и личинок в четырех полях зрения. В ходе эмбриогенеза оценивали количество аномалий на всех стадиях развития, степень отставания развития и выживания личинок. Для подсчета и фотографирования фиксировали часть зигот, эмбрионов и личинок 0,02 %-ным раствором глутаральдегида.

Число нормальных эмбрионов и личинок пересчитывали в процентах по отношению к контролю. Результаты экспериментов обрабатывали с помощью пакетов программ Excel и Statistica: определяли среднее арифметическое, стандартное отклонение, достоверность различий между выборками по критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

В 2011 г. общая ледовитость в Охотском море была низкой в течение всего ледового сезона (среднезимнее значение составило 44,3 %, что на 20,0 % ниже нормы). В третьей декаде мая, в период отбора проб, в районе работ все еще наблюдалось незначительное поле плавучего льда, площадь которого соответствовала среднемноголетним данным (рис. 2) (Хен и др., 2011).

Весной вдоль северо-восточного побережья о. Сахалин прослеживается поток вод из северо-западной части Охотского моря до зал. Набиль, отчетливо выделяющийся по пониженной солености до глубины 10–20 м (Пищальник и др., 2003). В период исследования был зафиксирован слабовыраженный вдольбереговой поток южного направления, являющийся периферией ВСТ со скоростью 2–3 см/с и приносящий в район станций 1, 3 и 4 трансформированные воды Амурского лимана с соленостью 32,8 ‰ (рис. 2, 3).

Гидрологическая и гидрохимическая обстановка в исследуемом районе была обычной для весеннего сезона, наблюдалось увеличение температуры и солености от берега к мористой части, а также начало вегетационного периода водной растительности, вследствие которого происходило снижение концентраций биогенных элементов и увеличение содержания растворенного кислорода в районах «вспышек» цветения фитопланктона (Хен и др., 2011; Чульчиков, 2012).

* Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО, 1988. 119 с.

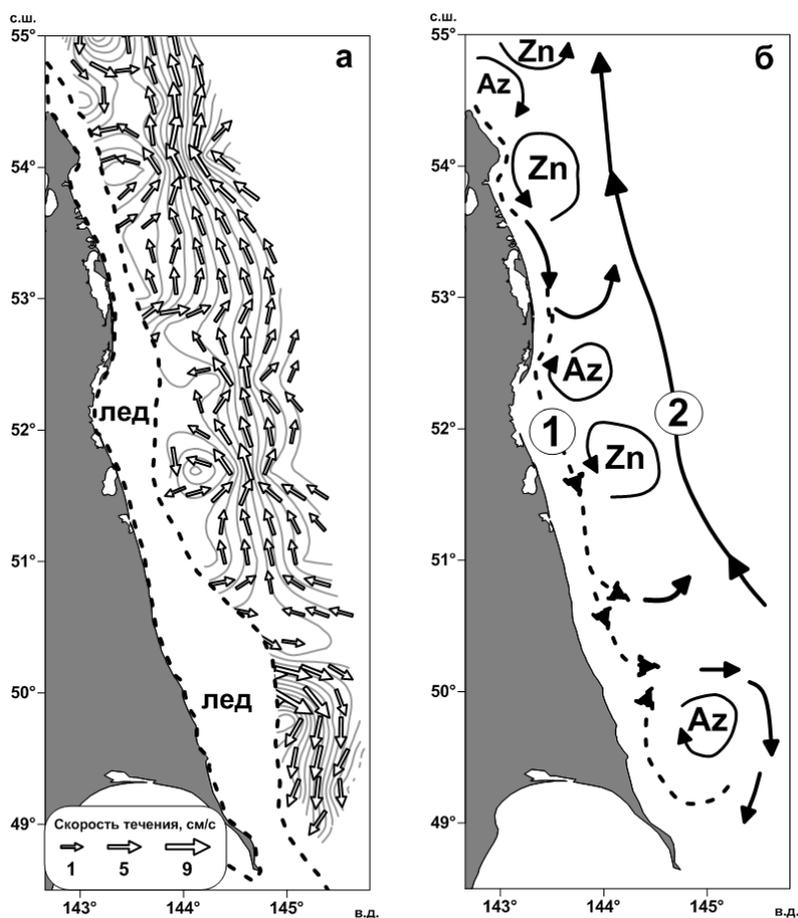


Рис. 2. Геострофические течения на фоне динамической топографии относительно 200 дбар (а) и схема основных потоков (б: Zn — циклоническое, Az — антициклоническое движение вод); 1 — Восточно-Сахалинское течение, 2 — склоновое противотечение ВСТ. Пунктирные стрелки — предполагаемое движение вод

Fig. 2. Dynamic sea surface topography relative to 200 dbar (a) and scheme of the main streams (б): dotted arrows — geostrophic flows, Zn — cyclonic eddies, Az — anticyclonic eddies, 1 — East Sakhalin Current, 2 — East Sakhalin Slope Countercurrent

Соленость вод варьировала от 31,38 до 33,09 ‰, температура — от $-1,36$ до $+1,72$ °C. На общем фоне выделились станции 5, 7, 8, выполненные вдоль кромки тающего льда, где наблюдался холодный (от $-1,36$ до $-0,63$ °C), распресненный (от 31,38 до 31,90 ‰) поверхностный слой воды, насыщенный кислородом до 11 мл/л (120 ‰), и район станций 10 и 11 с минимальными концентрациями фосфатов — 0,4–0,8 μM и кремниеслоты — 30–40 μM (рис. 3).

Отдаляясь от кромки льда и шельфа (берега) в глубоководную часть моря (район станций 1, 2, 6, 9, 11), температура и соленость поверхностного слоя незначительно увеличивались, воды становились более обогащенными биогенными элементами, а концентрация кислорода снижалась (рис. 3), эти воды были приурочены к потоку Восточно-Сахалинского противотечения.

Результаты экотоксикологических экспериментов позволили объединить станции в три группы. Первая группа — станции 8 и 9, в воде с которых развитие *S. mirabilis* уже на начальных этапах достоверно отличалось от контроля (рис. 4), в дальнейшем формировались уродливые бластулы и плутеусы (рис. 5). Обе станции удалены как от района нефтепромысла, так и от побережья (см. рис. 1). При проверке уровня солености в пробах (аргентометрическим методом) выяснилось, что вода распреснена соответственно до 26 и 22 ‰. Однако данные *in situ*, полученные с помощью зонда,

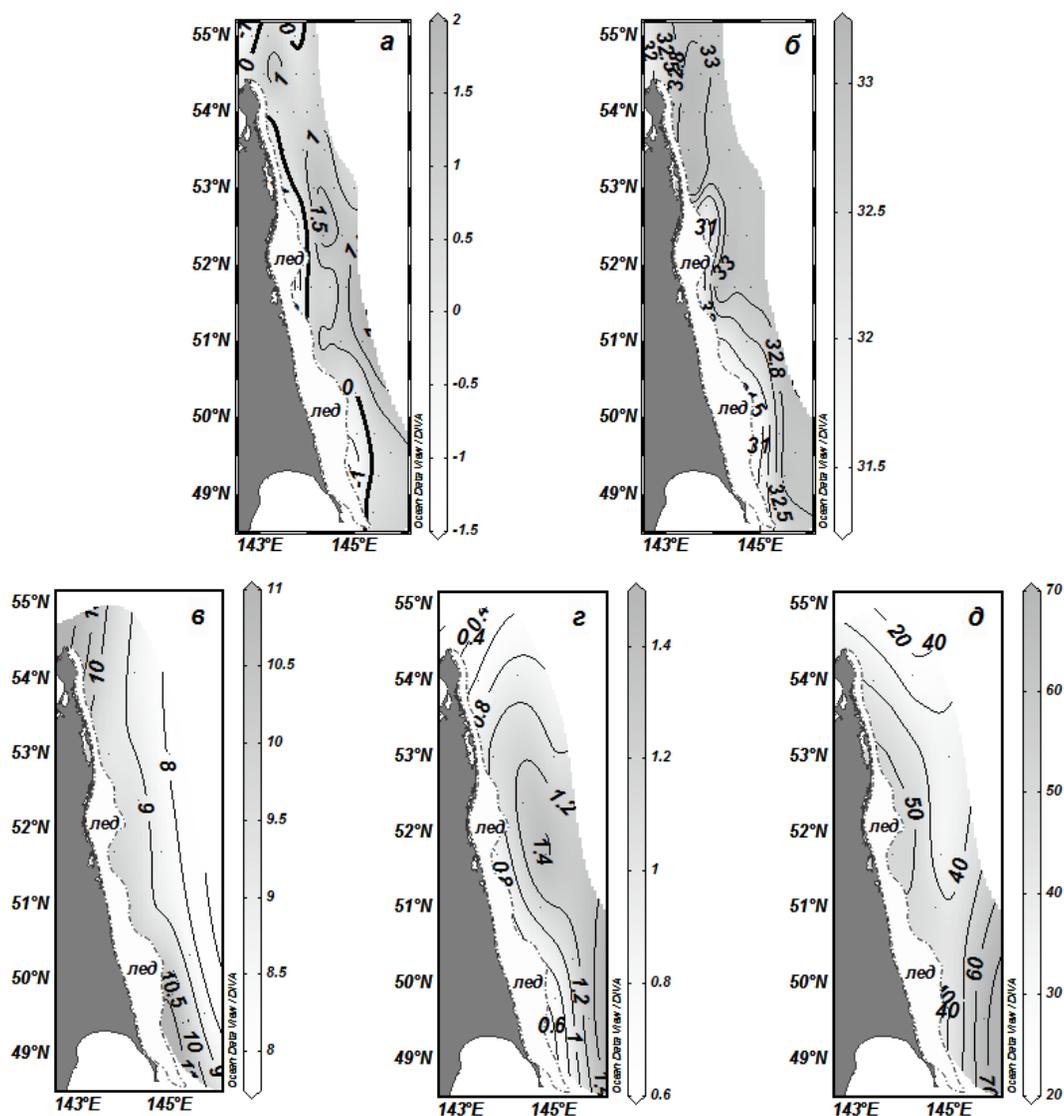


Рис. 3. Распределение основных гидрологических и гидрохимических параметров поверхностных вод в районе исследования: а — температуры, °С; б — солёности воды, ‰, в — растворенного в воде кислорода, мл/л; г — фосфатов, μМ; д — кремнекислоты, μМ

Fig. 3. Spatial distribution of some oceanographic parameters at the sea surface in the area of monitoring: а — sea surface temperature (°C); б — salinity, psu; в — dissolved oxygen content, ml/l; г — phosphates concentration, μM; д — silicon concentration, μM

показывают, что в районе отбора проб солёность воды была нормальной, 31–33 ‰. Расхождение результатов, полученных разными методами, может быть связано с появлением на поверхности моря тонких плавающих линз с опресненной водой в условиях неустойчивой гидродинамики, характерной для весеннего сезона. Эти линзы занимают настолько тонкий поверхностный слой (до нескольких сантиметров) (Пищальник и др., 2003), что могут быть не выявлены с помощью зонда. В случае станции 8, расположенной у кромки льда в районе циклонического вихря, источником такой линзы могло послужить как интенсивное таяние льда, так и влияние Восточно-Сахалинского течения, вливающегося в циклонический круговорот на широте 50°30' и приносящего опресненные воды в район станции 8 (см. рис. 2).

S. mirabilis является одним из наиболее эврибионтных видов морских ежей. В лабораторных экспериментах взрослые животные выживали при понижении солёности воды до 18 ‰ и только при 14 ‰ погибали в течение 2 сут (Кашенко, 2008).

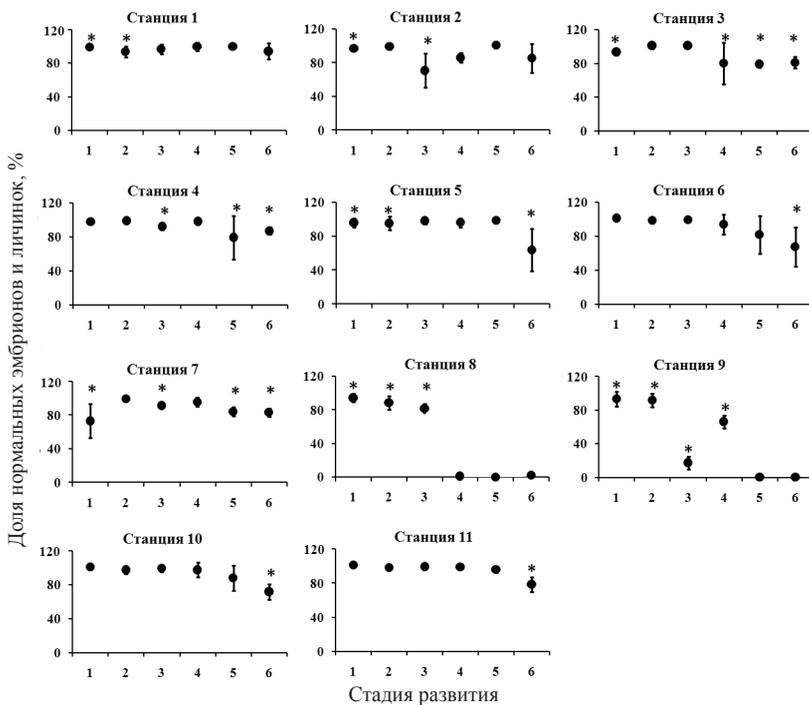


Рис. 4. Результаты биотестирования вод из окрестностей восточного побережья о. Сахалин (среднее \pm станд. откл., $n = 12$). * — отличие от контроля достоверно при $p \leq 0,05$. Стадии развития: 1 — образование оболочки оплодотворения; 2 — первое деление дробления; 3 — бластула; 4 — гастрюла; 5 — ранний плутеус 1-й стадии; 6 — средний плутеус 1-й стадии

Fig. 4. Results of bioassay for the water samples (mean \pm st. dev., $n = 12$), by 6 stages of sea urchin embryos development: 1 — formation of fertilization membrane; 2 — first cleavage; 3 — blastula; 4 — gastrula; 5 — 2-armed pluteus; 6 — 4-armed pluteus. * — significant difference with the control samples for $p \leq 0.05$

Эмбриональное развитие *S. mirabilis* при температуре 14–20 °С успешно завершалось в диапазоне солености 24–36 ‰. Критической для процесса оплодотворения оказалась соленость воды 22 ‰; в воде же с соленостью 24–26 ‰ формировалось около ¼ уродливых бластул (Кашенко, 2009). Для другого вида плоских морских ежей, *Echinarachnius parma*, эффект понижения солености в большей степени сказывается не на оплодотворяющей способности сперматозоидов, а на нарушении дробления зиготы (Allen, Pechenik, 2010). Соответственно даже в сильно опресненной воде возможно довольно эффективное оплодотворение, но прекращение развития на более поздних стадиях, что и наблюдалось в нашем эксперименте.

Вторая группа — станции 1, 2, 6, 10 и 11, где развитие тест-объекта происходило наиболее благополучно. Это мористые станции. Следует, однако, отметить, что на отдельных стадиях количество нормальных эмбрионов и личинок в опыте достоверно отличалось от контроля. При этом чаще всего нарушалось формирование среднего плутеуса (ст. 6, 10, 11 — рис. 5, Ж, З). По мнению различных авторов, пороговым значением для сохранения как природной популяции, так и лабораторной культуры можно считать не менее 50 % нормально развивающихся личинок (Woelke, 1965; Kobayashi, 1985). На исследованных станциях доля аномалий варьировала от 4 до 33 %, что соответствует слабому токсическому воздействию. Экспериментально установлено, что плутеусы 1-й стадии (с двумя парами рук) наиболее чувствительны как к изменению природных факторов (температуры и солености), так и к загрязнению. Вероятно, это связано со значительными перестройками организма при формировании личиночного скелета и переходом к экзогенному питанию (Бузников, Подмарев, 1975; Кашенко, 2009). Нарушения на стадии среднего плутеуса в меньшей степени сказываются на качестве потомства.

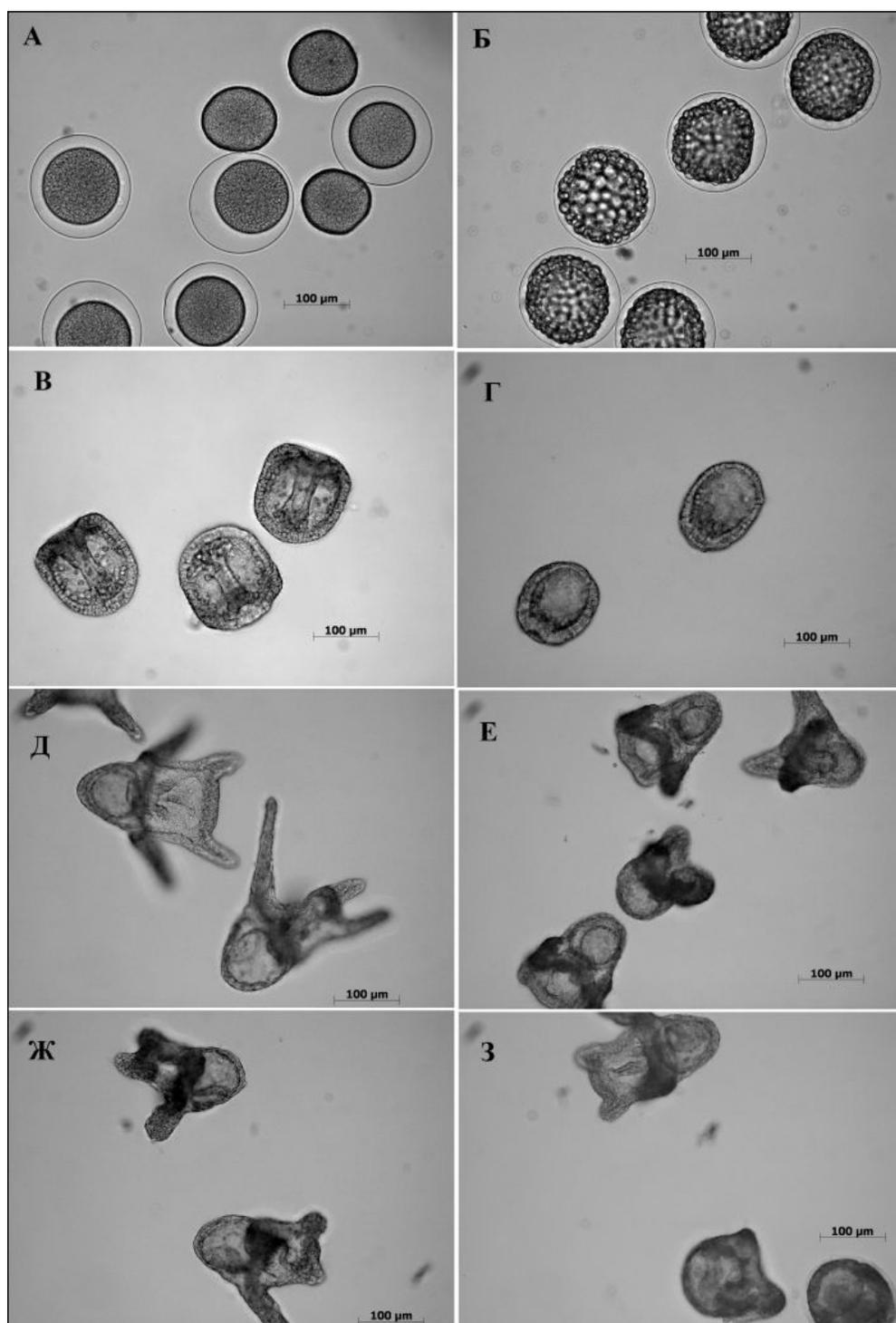


Рис. 5. Эмбриональное и личиночное развитие плоского морского ежа *S. mirabilis* в тестируемой воде: А — низкий уровень оплодотворения яйцеклеток (ст. 7); Б — деформированные бластулы (ст. 8, 9); В — нормальные гастролы (ст. 1); Г — торможение гастрюляции (ст. 7); Д — нормальные средние плутеусы 2-й стадии (ст. 1); Е-З — аномальные средние плутеусы в пробах соответственно со станций 9–11

Fig. 5. Examples of embryonic and larval development of sand dollar *Scaphechinus mirabilis* in the water samples collected in different areas: А — abnormally low level of the embryos fertilization (water from station 7); Б — malformed blastula (water from stations 8, 9); В — normal gastrulation (water from station 1); Г — inhibition of gastrulation (water from station 7); Д — normal 4-armed pluteus (water from station 1); Е-З — abnormal 4-armed pluteus (water from stations 9–11)

Отклонения в развитии, достоверно отличные от контроля практически на всех стадиях, наблюдали в воде станций третьей группы — 3, 4, 5, 7, расположенных в непосредственной близости от района нефтедобычи. Доля оплодотворенных яйцеклеток здесь составляла от 73 до 98 % (см. рис. 4), однако на стадиях раннего и среднего плутеуса выявлено наибольшее количество аномальных личинок (на ст. 3 — соответственно 21 и 19 %, на ст. 4 — 21 и 13 %, на ст. 5 — 2 и 36 %). В воде со станции 7, помимо аномальных плутеусов, был еще отмечен низкий показатель оплодотворенных яйцеклеток (73 %), а также торможение гастрюляции (см. рис. 5, А, Г).

Биотестирование с использованием морских ежей на ранних стадиях развития проводилось в этом районе еще в 1993 г. (Соколова и др., 1997), когда был выявлен незначительный токсический эффект. Позднее, в 2002 г., была проведена индикация вод северо-восточного шельфа о. Сахалин по состоянию ихтиопланктона. В качестве биоиндикатора была использована икра двух видов рыб, широко распространенных в данном районе, — минтая и желтополосой камбалы. Минимальное количество нормально развивающейся икры было обнаружено в водах над нефтегазоносными районами, в том числе в районах добычи нефти и газа и установки нефтедобывающих платформ. Доля нормально развивающейся икры в пробах из этого района составляла 2,8 % для минтая и 3,7 % для камбалы, тогда как в среднем на всем северо-восточном шельфе эти значения были примерно в 10 раз выше (соответственно 29,0 и 30,2 %) (Давыдова, Черкашин, 2007). Резкое сокращение запаса и вылова минтая в этом районе в середине 1990-х гг. исследователи связывали с развитием нефтедобычи на шельфе в этот период (Smirnov, Sheybak, 2003). Восстановление запаса началось после 2006 г., однако этот процесс здесь происходил гораздо медленнее, чем в целом в Охотском море.

Парадоксально, но, несмотря на большое количество исследований, выполненных в последние годы в этом районе, сведения об уровнях загрязнения присахалинских вод нефтью и нефтепродуктами крайне немногочисленны. Известно, что на шельфе Сахалина встречаются локальные повышения концентраций нефтеуглеводородов (НУ) в воде и донных отложениях в тех районах, где отсутствуют какие-либо антропогенные источники загрязнения водной среды. Эти районы являются проявлением природных нефтегазоносных структур (Патин, 2001). На всей акватории дальневосточных морей в начале 1990-х гг. фоновое содержание НУ было определено как 15–20 мкг/л (Немировская, 1995; Немировская и др., 1997; Tkalin et al., 2003). Содержание экстрагируемых НУ в открытых водах шельфа Сахалина может изменяться в пределах 1–10 мкг/л, в прибрежных водах — 10–100 мкг/л, в заливах, губах, устьях рек — 100–1000 мкг/л, в районах локального загрязнения — > 1000 мкг/л (Патин, 2001). В 1998 г. было выявлено резкое повышение количества нефтяных углеводородов (до 11 мг/л) в районе платформы Моликпак, в то время как на станциях южнее и севернее их концентрации были на три порядка ниже (Tkalin et al., 2003). По данным И.А. Немировской (1995), до начала активной нефтедобычи на шельфе в открытой части Охотского моря концентрации алифатических углеводородов были крайне низкими: 15–23 мкг/л в поверхностном и 18,3–21,0 мкг/л в придонном слое. Максимальный уровень загрязнения (до 2172 мкг/л) был выявлен в 1993 г. в окрестностях нефтяной платформы, ведущей нефтедобычу на Пильтун-Астохском месторождении (Немировская, 1995). После начала разработки месторождений в донных осадках доминировали аллохтонные устойчивые соединения, что может свидетельствовать о возрастающем загрязнении исследуемого района (Немировская, 2008).

Косвенным свидетельством загрязнения вод является высокая численность нефтеокисляющих микроорганизмов в морских водах на траверзе зал. Пильтун, южнее района нефтедобычи, — $8,0 \cdot 10^4$ кл./мл в 2001 г. и $2,5 \cdot 10^5$ кл./мл в 2003 г. при их численности в фоновом районе $1,4 \cdot 10^3$ кл./мл (Журавель и др., 2004; Бузалева и др., 2006).

Токсичность нефти и нефтепродуктов во многом зависит от содержания в них полиароматических углеводородов (ПАУ). Средние концентрации ПАУ (в растворенной форме) в присахалинских поверхностных водах варьировали в интервале 4,4–12,7 нг/л, во всех пробах преобладал нафталин (Немировская и др., 1997). Показано, что

подобные соединения нарушают раннее развитие морских ежей *Paracentrotus lividus*, *Strongylocentrotus droebachiensis* и трески *Gadus morhua* (Bellas et al., 2008).

Заключение

Таким образом, эмбриональное развитие морского ежа *Scaphechinus mirabilis* в морской воде северо-восточного шельфа о. Сахалин при нормальных гидрохимических показателях среды происходило с минимальным количеством аномалий, типичным для экспериментальных условий. Опреснение вызывало нарушение эмбриогенеза уже на стадии дробления. В воде из района нефтедобычи, при нормальных значениях солености, температуры и концентрации биогенов, отмечено наибольшее количество аномалий на всех стадиях развития.

Продолжение освоения нефтегазовых месторождений на северо-восточном шельфе о. Сахалин будет оказывать сильнейшее влияние на состояние морской среды и биоты. Биотестирование позволяет получить быстрые данные о качестве среды и ее воздействии на гидробионтов в конкретном месте. Биологические тесты уже включены в практику экологического мониторинга среды на Балтийском море и входят в отчеты HELCOM*. Введение современных и репрезентативных методов биотестирования в практику производственного экологического мониторинга в нефтяных компаниях Дальнего Востока позволит выявлять ранние нарушения и прогнозировать состояние морской среды при добыче и транспортировке нефти и газа на шельфе.

Исследование выполнено при поддержке программы «Научный фонд ДВФУ» и гранта Правительства Российской Федерации, договор № 11.G34.31.0010.

Список литературы

- Бузников Г.А., Подмарев В.К.** Морские ежи // Объекты биологии развития. — М. : Наука, 1975. — С. 188–216.
- Бузолева Л.С., Безвербная И.П., Журавель Е.В., Калитина Е.Г.** Микробиологический анализ загрязнения окраинных морей северо-западной части Тихого океана // Океанол. — 2006. — Т. 46, № 1. — С. 55–62.
- Давыдова С.В., Черкашин С.А.** Ихтиопланктон восточного шельфа острова Сахалин и его использование как индикатора состояния окружающей среды // Вопр. ихтиол. — 2007. — Т. 47, № 4. — С. 494–505.
- Журавель Е.В., Безвербная И.П., Бузолева Л.С.** Микробная индикация загрязнения прибрежных вод Охотского моря и Авачинской бухты // Биол. моря. — 2004. — Т. 30, № 2. — С. 138–142.
- Кашенко С.Д.** Влияние экстремальных изменений температуры и солености морской воды на развитие плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis* // Биол. моря. — 2009. — Т. 35, № 4. — С. 277–285.
- Кашенко С.Д.** Реакции плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis* на экстремальные изменения условий среды обитания // Биол. моря. — 2008. — Т. 24, № 3. — С. 196–199.
- Кобаяси Н., Найденко Т.Х., Ващенко М.А.** Стандартизация биотеста с использованием зародышей морского ежа // Биол. моря. — 1994. — Т. 20, № 6. — С. 457–464.
- Кобликов В.Н., Павлючков В.А., Надточий В.А.** Бентос континентального шельфа Охотского моря: состав, распределение, запасы // Изв. ТИНРО. — 1990. — Т. 111. — С. 27–38.
- Коновалова Т.В.** Оценка состояния донных осадков и бентоса на Пильтун-Астохском нефтегазовом месторождении на начальном этапе освоения (северо-восточный шельф Сахалина) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2003. — 22 с.
- Лысенко А.Л.** Производственная история компании «Сахалин Энерджи» // Вестн. Морского государственного университета. Сер. Теория и практика защиты моря. Вып. 48/2011. — Владивосток : МГУ, 2011. — С. 109–114.
- Надточий В.А., Будникова Л.Л., Кобликов В.Н., Безруков Р.Г.** Современные данные о составе и количественном распределении макробентоса охотоморского шельфа о. Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 139. — С. 317–339.

* HELCOM. The Baltic Marine Environment 1999–2002. Baltic Sea Environment Proceedings. 2003. № 87. 48 p.

- Немировская И.А.** Содержание и состав углеводов в донных осадках сахалинского шельфа // Геохимия. — 2008. — № 4. — С. 414–421.
- Немировская И.А.** Углеводороды воды и донных осадков Охотского моря // Геохимия. — 1995. — № 7. — С. 1009–1020.
- Немировская И.А., Люцарев С.В., Шанин С.С.** Органические вещества воды и взвеси Сахалинского шельфа // Геохимия. — 1997. — № 9. — С. 959–966.
- Патин С.А.** Нефть и экология континентального шельфа : монография. — М. : ВНИРО, 2001. — 247 с.
- Пищальник В.М., Архипкин В.С., Юрасов Г.И., Ермоленко С.С.** Сезонные вариации циркуляции вод в прибрежных районах о. Сахалин // Метеорол. и гидрол. — 2003. — № 5. — С. 87–95.
- Попудрибко К.К., Путов В.Ф., Шевченко Г.В.** Оценка характеристик морских течений на Пильгун-Астохской нефтегазоносной площади (северо-восточный шельф о. Сахалин) // Метеорол. и гидрол. — 1998. — № 4. — С. 82–95.
- Соколова С.А., Старцева А.И., Моисейченко Г.В., Черкашин С.А.** Исследование воды и донных отложений в Охотском море методом биотестирования // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 167–172.
- Хен Г.В., Басюк Е.О., Глебова С.Ю. и др.** Гидрометеорологические условия в дальневосточных морях России в 2010 и 2011 гг. // Вопр. промысл. океанол. — 2011. — Вып. 8, № 2. — С. 43–60.
- Чульчекоев Д.Н.** Гидрохимические основы биологической продуктивности в районах апвеллингов (Охотское море) // Мат-лы Всерос. конф. молодых ученых и специалистов с международным участием, посвящ. 90-летию со дня постройки первого НИС «Персей». — Мурманск : ПИНРО, 2012. — С. 293.
- Allen J.D., Pechenik J.A.** Understanding the effects of low salinity on fertilization success and early development in the sand dollar *Echinarachnius parma* // Biol. Bull. — 2010. — Vol. 218, № 2. — P. 189–199.
- Beiras R., Saco-Alvares L.** Toxicity of seawater and sand affected by the Prestige fuel-oil spill using bivalve and sea urchin embryogenesis bioassays // Water, Air and Soil Pollution. — 2006. — Vol. 177. — P. 457–466. DOI: 10.1007/s11270-006-9166-2.
- Belan T.A., Oleynik E.V.** Background benthos study at North Sakhalin Island shelf in 1994 // Ocean Res. — 1997. — Vol. 19, № 2. — P. 121–126.
- Bellas J., Saco-Alvarez L., Nieto O., Beiras R.** Ecotoxicological evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons using marine invertebrate embryo-larval bioassays // Mar. Pollut. Bull. — 2008. — Vol. 57. — P. 493–502.
- Kobayashi N.** Marine pollution bioassay by sea urchin eggs, an attempt to enhance accuracy // Publ. Seto Mar. Biol. Lab. — 1985. — Vol. 30, № 4–6. — P. 213–226.
- Kobayashi N.** Preliminary experiments with sea urchin pluteus and metamorphosis in marine pollution bioassay // Publ. Seto Mar. Biol. Lab. — 1977. — Vol. 24, № 1–3. — P. 9–21.
- Mariani L., Pascale D., Faraponova O. et al.** The use of a test battery in marine ecotoxicology: The acute toxicity of sodium dodecyl sulfate // Environmental Toxicology. — 2006. — Vol. 24, № 4. — P. 373–379.
- Smirnov A.V., Sheybak A.Yu.** Changes of East Sakhalin walleye Pollock stock and offshore oil and gas development — whether is connection? // North Pacific Marine Science Organization. Twelfth Annual Meeting. Program Abstracts. — Seoul, Republic of Korea, 2003. — P. 21.
- Tkalin A.V., Lishavskaya T.S., Belan T.A. et al.** Monitoring of potential environmental effects of oil exploration in the Sea of Okhotsk and distribution of artificial radionuclides in the Sea of Japan // Pacific Oceanography. — 2003. — Vol. 1, № 1. — P. 42–52.
- Woelke C.E.** Bioassay with bivalve larvae // Rep. Pac. Mar. Fish. Comm. — 1965. — Vol. 18. — P. 33–35.

Поступила в редакцию 11.03.14 г.