

О РАЗВИТИИ МАССОВЫХ ТОКСИЧНЫХ ВИДОВ ФИТОПЛАНКТОНА И СОДЕРЖАНИИ ФИКОТОКСИНОВ В ТКАНЯХ ГРЕБЕШКА *MIZUNOPRESTEN YESSOENSIS* (JAY) В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ о. САХАЛИН

Т. А. Могильникова, И. В. Мотылькова,
Н. В. Коновалова

Сахалинский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск)

Приблизительно 40 видов существующего морского фитопланктона производят сильные токсины, которые вызывают отравления и гибель зоопланктона, рыб, птиц, морских животных, людей (Manual on harmful..., 1995; Lefebvre et al., 2002).

В мире с давних времен это явление не редкость, а географическое распространение известных случаев отравлений моллюсками при «цветении» микроводорослей («красном приливе») становится все шире, нанося огромный ущерб экономике разных стран и здоровью людей (Hallegraeff, 1993; Manual on harmful..., 1995). Основной путь поступления токсинов к человеку – употребление им в пищу морепродуктов, главным образом моллюсков-фильтраторов, накапливающих опасные яды при массовом развитии или «цветении» планктонных микроводорослей.

Об опасности этих явлений в России свидетельствуют известные современные трагические события, произошедшие в дальневосточном регионе. Так, случаи отравлений моллюсками людей, в том числе со смертельным исходом, отмечались в Олюторском заливе Берингова моря в 1945 г. (Лебедев, 1968), в г. Петропавловске-Камчатском в августе 1973 г. (Куренков, 1974) и в 1975 г. (Ошурков, 1990). Факты отравлений происходили в период «красных приливов», когда вода бухты была окрашена красно-коричневыми полосами. При этом в местах, где «цветение» воды не наблюдали, случаев отравления людей не было зарегистрировано. Уже в 1973 г. токсикологами г. Петропавловска-Камчатского было установлено, что отравление людей было вызвано сильнейшим ядом сакситоксином (Куренков, 1974). Известно, что вспышки интенсивного развития фитопланктона (или «цветение») некоторых видов водорослей сопровождаются выделением различного рода фикотоксинов: PSP-токсин, или сакситоксин, – паралитический яд, ASP-токсин – амнезический яд, DSP-токсин – диарейный яд моллюсков, NSP-токсин – нейротоксический яд моллюсков и ряд других токсинов. Именно эти токсины, главным образом при поступлении в различные организмы по пищевой цепи, ведут к их отравлениям или гибели.

Уже несколько десятилетий ученые Японии проводят мониторинг вредоносных микроводорослей и токсинов* в моллюсках в прибрежье Охотского и Японского морей, где часто отмечают случаи гибели рыб и отравлений людей моллюсками. Это явление регистрируется в том числе у о. Хоккайдо, соседствующего с о. Сахалин (Yasumoto et al., 1996; Shimada et al., 1996).

Явление «цветения» и массовое развитие токсичных микроводорослей в последние годы регистрируются в дальневосточных морях (Orlova et al., 1996, 2005; Коновалова, 1999; Стоник и др., 2001; Орлова, 2005; Селина и др., 2005; Mogilnikova, Konovalova, 2005), в солонатоводном заливе Ныйский (Колганова, Могильникова, 1999), в оз. Тунайча (Konovalova, Motylkova, 2006). Кроме того, доказана токсичность некоторых видов фитопланктона в морях России (Магишов, Фуштей, 2003; Вершинин и др., 2005; Orlova et al., 2005).

Во многих странах существуют агентства международных и региональных организаций, реализующие программы мониторинга токсичного планктона, содержания токсинов в морепродуктах; развита система оповещения населения при возникающей опасности отравлений; регулируется промысел моллюсков временными запретами на вылов при определенных показателях их токсичности и численности вредоносных видов микроводорослей. Под эгидой ЮНЕСКО проводится широкомасштабная работа по исследованию «вредоносных цветений» от внедрения методов (Manual on harmful..., 1995) до финансирования научных программ и освещения данной проблемы в специализированных периодических печатных изданиях («GEOHAB – Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms», «Harmful Algae News» и др.).

* Сакситоксин является сильнейшим нервно-паралитическим ядом, оказывающим на живой организм сильное действие, сходное с воздействием растительного алкалоида кураре и тетродоксина (Демина, Мальдов, 1980). Сакситоксин действует в 80 раз сильнее яда кобры (Куренков, 1974). PSP-токсин выделяется микроводорослями рода *Alexandrium*, *Aphanizomenon*. Сакситоксин хорошо растворяется в воде. Для человека он опасен при контакте со слизистой или кожей, а также при употреблении в пищу токсичных морепродуктов. Первые признаки отравления – озноб, боль в груди, сердечная недостаточность, раздражение слизистых оболочек рта и носа, дыхательных путей, онемение языка, губ, кончиков пальцев. Паралич дыхания, вызванный сакситоксином, в 8% случаев приводит к летальному исходу через 1–12 часов. Летальная доза при приеме внутрь, по различным литературным данным, составляет 0,3–5,0 мг. Антидотов при отравлении – нет. Угрожает жизни, может потребоваться респираторная поддержка (Manual on harmful..., 1995). Лечение симптоматическое, рекомендуется гидрокарбонат натрия, так как токсин инактивируется в щелочной среде (Демина, Мальдов, 1980).

Диарейный токсин, выделяемый микроводорослями родов *Dinophysis*, *Prorocentrum*, при попадании в организм человека с токсичными морепродуктами, через 30 минут – 2 часа вызывает тошноту, рвоту, диарею и боль в животе, сопровождаемые ознобом, головной болью, лихорадкой. Применяется симптоматическое лечение (Manual on harmful..., 1995).

Домоиковую кислоту (ДК) выделяют виды рода *Pseudo-nitzschia*. Данный токсин, попадая в организм, через 24–48 часов вызывает рвоту, диарею, боль в животе, в более тяжелых случаях – потерю памяти, дезориентацию, судороги, кому. Применяется поддерживающее лечение. Пожилые люди особенно чувствительны к амнезийному токсину (Manual on harmful..., 1995; Коханова, Хотимченко, 2006).

В России, к сожалению, нет контролирующих государственных служб, проводящих мониторинг вредоносного «цветения» микроводорослей и определение содержания их токсинов в морских организмах. Поэтому нельзя исключать это явление при установлении причин гибели млекопитающих, рыб и птиц, которая становится заметной лишь при ее массовом характере. Установление причин осложняется тем, что не всегда «цветение» токсичных микроводорослей сопровождается окрашиванием воды, которое легко заметить, так же, как и изменение цвета воды не всегда является «цветением» микроводорослей, а может быть вызвано спорами, семенами деревьев, растущих на побережье. Такой случай был отмечен в заливе Мордвинова в 2000 г. Иногда «цветение» токсичных микроводорослей настолько скоротечно, что проходит незамеченным, а попытки установить его причину проводятся с запозданием. Так, на Камчатке в 1973 г. после случая изменения цвета воды и отравления людей пробы воды, взятые спустя 10 дней, не содержали видов токсичного фитопланктона, хотя в моллюсках сакситоксин присутствовал (Куренков, 1974).

Содержание токсинов в моллюсках и других организмах является важнейшим показателем их безопасности. Допустимые уровни концентраций токсинов установлены в России при экспорте моллюсков. Госкомсанэпиднадзор РФ в 1996 г. утвердил постановлением № 6 от 11.03.1996 г. нормативы содержания токсинов в тканях морепродуктов (СанПиН 2.3.4.050-96). Количество паралитического яда (сакситоксина), содержащегося в съедобных частях моллюсков, не должно превышать 80 мкг на 100 г мяса моллюсков. Традиционные биологические методы тестирования не должны давать положительной реакции на диарейный яд в съедобных частях (п. 6.10.4 СанПиНа 2.3.4.050-96). Содержание ASP-токсина в России не регламентируется, однако USFDA (United States Food and Drug Administration) установила безопасный уровень содержания ASP-токсина для тела двустворчатых моллюсков – 20 мг/кг, для внутренних органов крабов 30 мг/кг (Коханова и др., 2005). СанПиН 2.3.4.050-96 также предусматривает контроль численности токсичных видов микроводорослей в марикультурных хозяйствах с периодичностью в 10 дней при вылове моллюсков.

Исследований в России по определению содержания фикотоксинов в морепродуктах явно недостаточно (Коханова, Хотимченко, 2006; Mogilnikova, Konovalova, 2005; Коновалова, Могильникова, 2006).

В Сахалино-Курильском регионе активно ведется промысел морских беспозвоночных, одним из которых является гребешок *Mizuhopecten yessoensis* (Jay), поэтому проблема контроля содержания токсинов в тканях гребешка и мониторинга токсичного фитопланктона является актуальной.

Цель проводимых нами исследований заключается в оценке уровня накопления токсинов в гребешке и других объектах промысла в период массового развития видов фитопланктона – продуцентов PSP-, DSP-, ASP-токсинов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили сборы у побережья о. Сахалин 2000–2005 гг. Карта-схема отбора батометрических проб фитопланктона представлена на рисунке 1.

На северо-восточном шельфе Сахалина пробы фитопланктона отбирали в июле 2000 г., в сентябре 2001 г., в августе 2002 г. с трех горизонтов: с поверхностного, выше слоя скачка и в нижней части экваторического слоя, на глубине 30 м.

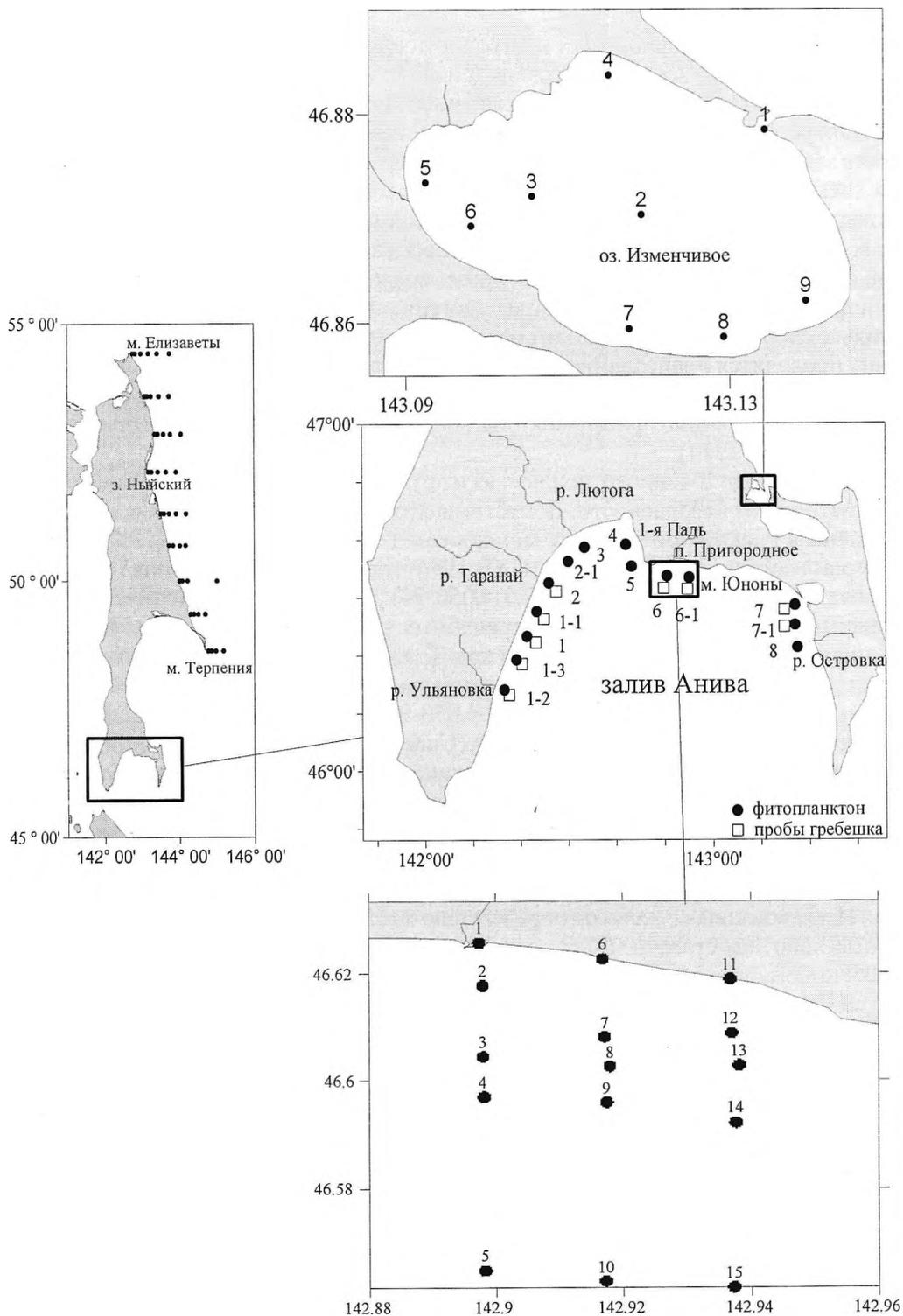


Рис. 1. Карта-схема отбора проб токсичного фитопланктона в прибрежных водах о. Сахалин

В озере лагунного типа Изменчивое пробы были отобраны в июне 2004 г. с поверхностного и придонного горизонтов. На суточной станции в протоке (станция 1), соединяющей лагуну с морем, пробы фитопланктона отбирались каждые четыре часа с поверхностного горизонта.

На локальном полигоне у пос. Пригородное (прибрежный район зал. Анива) работы выполняли в мае, июле, августе, октябре и декабре 2003 г. Пробы фитопланктона объемом 1 л отбирали на девяти станциях, над глубинами от 5 до 30 м, на горизонтах 0, 10, 20 м.

В прибрежной зоне зал. Анива (до глубины 10–15 м) в 2004 г. пробы воды объемом 1,5 л отбирали на восьми станциях с поверхностного и придонного горизонтов один раз в месяц в мае, июле, сентябре и на двух дополнительных станциях с мая по октябрь. Температуру и соленость в прибрежье залива измеряли портативным зондом YSI-63.

Всего было отобрано и обработано 569 проб фитопланктона.

Клетки микроводорослей концентрировали с помощью воронки обратной фильтрации через нуклеопоровые фильтры диаметром пор 0,1 мкм до осадка 10–20 мл, затем – методом осаждения до 1–8 мл (Федоров, 1979, с. 13–49). Подсчет клеток проводили в камере Нажотта объемом 0,055 мл и камере типа «Пенал» объемом 1 мл – для учета крупных и редких видов. Идентификацию видов проводили в световом микроскопе по общепринятым методикам (Киселев, 1950; Identifying marine..., 1996; Коновалова, 1998) и применением флуоресцентного метода (Manual on harmful..., 1995) с использованием микроскопа LEICA DMLS 32.

Пробы моллюсков на содержание токсинов отбирали с трех участков зал. Анива: западное побережье (станции 1–1, 1–2, 1–3, 1, 2), северное побережье (станции 6, 6–1), восточное побережье (станции 7, 7–1). Для анализа отбирали только промысловых особей размером от 11 до 18 см. Отбор проб на токсины был приурочен непосредственно к периоду активной вегетации и завершения развития соответствующего вида-продуцента токсина. На определение содержания в тканях гребешка PSP-токсина было отобрано 55 моллюсков: 41 экземпляр в июле–декабре 2004 г. и 14 экземпляров в апреле, июле, ноябре 2005 г. Определяли сакситоксин в мускуле, мантии и печени моллюска. Кроме того, выполнен анализ на содержание PSP-токсина по одной пробе в мышцах анчоуса *Engraulus japonicus* Schlegel, мышцах креветки *Pandalus latirostris* Rhatbun из залива Анива и в мидии *Mytilus trossulus* Gould (все ткани целиком) из оз. Изменчивое. На присутствие DSP-токсина было отобрано 20 моллюсков в период с ноября 2004 г. по ноябрь 2005 г. Пробы воды и гребешка на определение ASP-токсина отбирали в сентябре–ноябре 2004 г. в зал. Анива. Содержание домоиковой кислоты определяли в мускуле гребешка (12 проб), водорослях (7) и воде (4). Биоанализы выполняли с помощью тест-систем «RIDASCREEN[®] FAST Saxitoxin» (чувствительность метода – 5 мкг/100 г), «RIDASCREEN[®] FAST DSP» (чувствительность метода – 1 мкг/100 г), «ASP direct cELISA» (чувствительность метода – 1 мкг/100 г) на иммуноферментном анализаторе EL301. Обрабатывали результаты, используя компьютерную программу RIDA[®] SOFT Win.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Некоторые массовые виды токсичного фитопланктона прибрежных вод о. Сахалин

В результате наших исследований (Mogilnikova, Konovalova, 2005) и по литературным данным (Селина, Орлова, 2001; Орлова и др., 2004; Орлова, 2005; Селина и др., 2005), было выявлено, что в прибрежных водах Сахалина совокупный список продуцентов различных биотоксинов представлен 26 видами микроводорослей, девять из которых в определенные сезоны могут достигать массового развития. Именно этим видам в данной работе уделено пристальное внимание (табл.).

Продуцент PSP-токсина *Alexandrium tamarense* на северо-восточном шельфе был отмечен во все периоды исследований (см. табл.). Основное скопление клеток этого вида наблюдалось в южной части шельфа у м. Терпения и у о. Тюлений (рис. 2) при температуре воды 6,9–8,7°C и солености 32,3–32,4‰ (рис. 3); встречался также в районе Луньского залива и у мыса Елизаветы. Максимальное развитие *A. tamarense* было зарегистрировано в июле 2000 г., когда у м. Терпения численность его клеток достигала 6,916 тыс. кл./л, а у о. Тюлений – 11,727 тыс. кл./л (см. рис. 2).

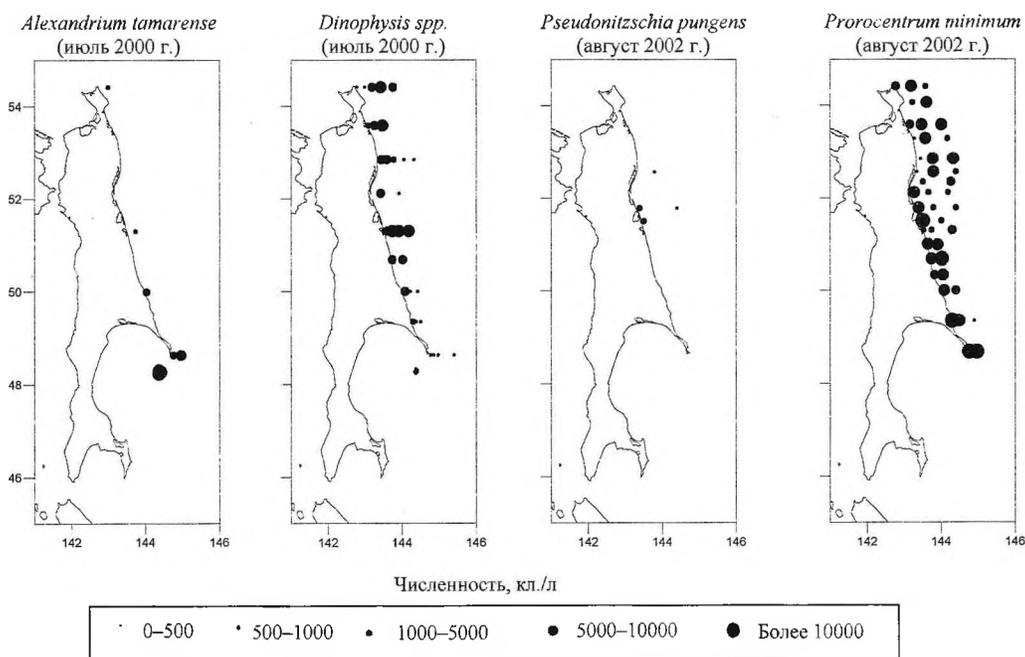


Рис. 2. Распределение токсичных микроводорослей в период их массового развития на северо-восточном шельфе Сахалина

DSP-токсичные динофлагелляты на шельфе северо-восточного Сахалина представлены двумя родами *Dinophysis* (четыре вида) и *Prorocentrum* (один вид) (см. табл.). *D. acuminata*, *D. acuta* были зарегистрированы во все периоды исследований, их встречаемость достигала 77%. Численность микроводорослей рода *Dinophysis* на северо-востоке Сахалина в разные периоды исследований изменялась от нескольких сотен до нескольких тысяч клеток на литр, составляя в среднем 0,163 (август 2002 г.), 0,874 (сентябрь 2001 г.), 1,07 тыс. кл./л (июль 2000 г.).

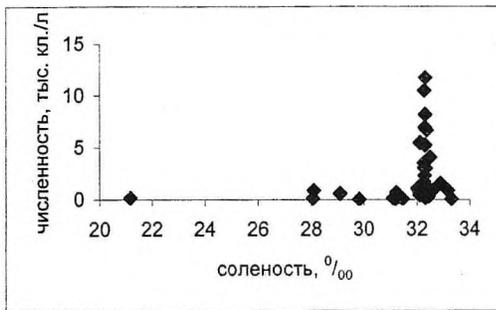
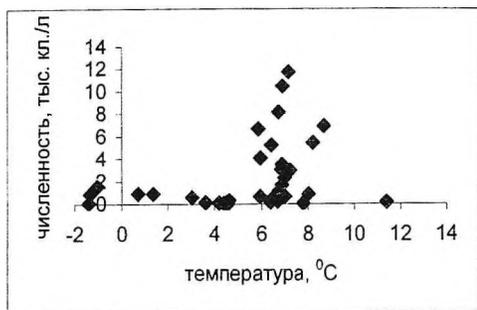
Массовые виды – продуценты ASP-, DSP-, PSP-токсинов в фитопланктоне прибрежных вод о. Сахалин

Группа	Вид	Опасные концентрации, клеток на литр*	о. Тюлений		Северо-восточный шельф Сахалина		Озеро Изменчивое		Прибрежная зона зал. Анива	
			максимальное кол-во клеток на литр	дата	максимальное кол-во клеток на литр	дата	максимальное кол-во клеток на литр	дата	максимальное кол-во клеток на литр	дата
PSP	<i>Alexandrium tamarense</i>	200	11727	Июль 2000 г.	6916	Июль 2000 г.	2154	Июнь 2004 г.	12139 3559 3440	Июнь 2003 г. Июль 2004 г. Май 2004 г.
DSP	<i>Dinophysis acuminata</i>	200–500	109	Июль 2000 г.	8454	Июль 2000 г.			1969	Октябрь 2003 г.
	<i>Dinophysis acuta</i>	200–500	182	Июль 2000 г.	5540	Июль 2000 г.			1531	Декабрь 2003 г.
	<i>Dinophysis fortii</i>	200			58	Август 2002 г.			1969	Октябрь 2003 г.
	<i>Dinophysis rotundata</i>	1000	91	Июль 2000 г.					410	Октябрь 2004 г.
	<i>Dinophysis norvegica</i>	200–500					7152	Июнь 2004 г.		
	<i>Prorocentrum minimum</i>		1308	Июль 2000 г.	21993	Август 2002 г.			25154	Август 2003 г.
ASP	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>								39371	Октябрь 2003 г.

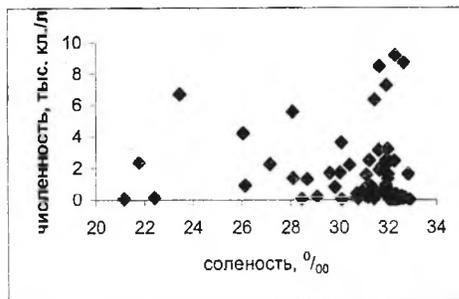
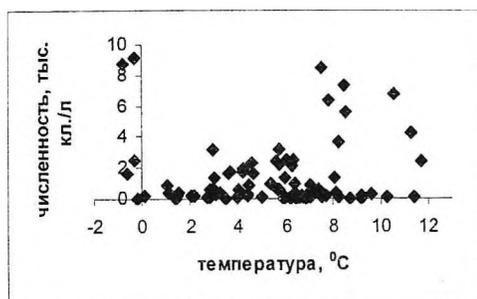
Примечание. PSP (Paralytic Shellfish Poisoning) – паралитическое отравление моллюсками; DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning) – диаретическое отравление моллюсками; ASP (Amnesic Shellfish Poisoning) – амнезийное отравление моллюсками.

* По данным (Manual on harmful..., 1995; Andersen, 1996) для побережий Нормандии, Японии, Дании и Великобритании.

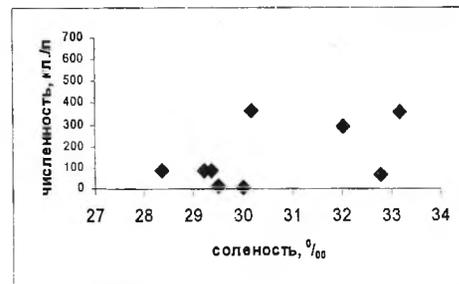
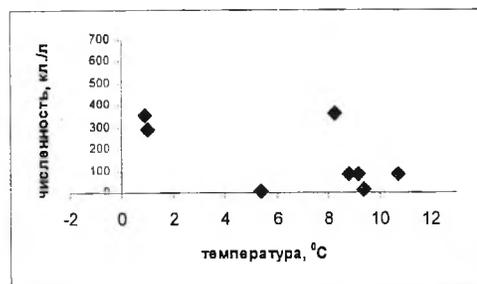
Alexandrium tamarense



Dinophysis spp.



Pseudonitzschia pungens



Prorocentrum minimum

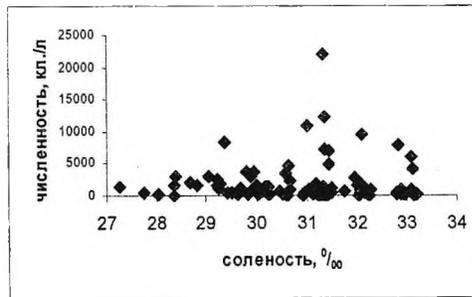
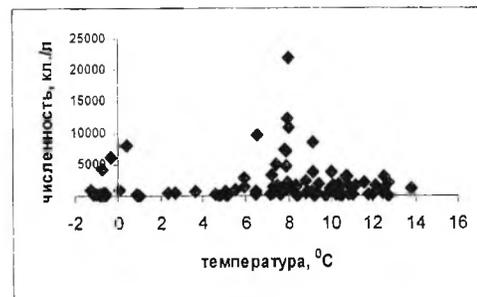


Рис. 3. Зависимость распределения массовых видов токсичного фитопланктона от температуры и солености на северо-восточном шельфе Сахалина

Максимальные значения численности видов рода *Dinophysis* были отмечены в июле 2000 г. при температуре воды от $-1,74$ до $+11,24^{\circ}\text{C}$ и солёности от 21,16 до 33,3‰ (см. рис. 3). В это время их суммарная численность достигала 8,488–9,181 тыс. кл./л. Такие высокие концентрации *Dinophysis spp.* были зарегистрированы у поверхности воды в районе Луньского залива и в нижней части эвфотического слоя у мыса Елизаветы (см. рис. 2), преимущественно за счет развития *D. acuminata* и *D. acuta* (см. табл.).

Prorocentrum minimum массового развития на северо-восточном шельфе Сахалина достигал в августе 2002 г. (см. табл.), когда концентрация его клеток в прибрежной зоне шельфа от зал. Ныйский до м. Терпения и в мористой зоне от м. Елизаветы до зал. Ныйский превышала 5 тыс. кл./л. Максимум численности был зарегистрирован в районе мыса Терпения при температуре воды $8,04^{\circ}\text{C}$ и солёности 31,3‰ (см. рис. 3) и составлял 21,993 тыс. кл./л (см. табл.).

Вид *Pseudo-nitzschia pungens*, продуцирующий ASP-токсин, на северо-восточном шельфе был отмечен лишь в августе 2002 г. (см. табл.). Встречаемость его по акватории была незначительна (11%) (см. рис. 2), а количество клеток не превышало 0,727 тыс. кл./л (см. табл.).

Вышеупомянутые токсичные виды достигают массового развития в морских заливах и иногда в солоноватоводных лагунах Сахалина.

В лагуном озере Изменчивое массового развития достигали *A. tamarense* и *D. norvegica*. Из этих видов в начале июня 2004 г. наиболее часто встречался *A. tamarense* (88% частоты встречаемости в пробах). Непосредственно в лагуне численность его не превышала 0,990 тыс. кл./л у поверхности и 0,722 тыс. кл./л – у дна (в среднем – не более 0,350 тыс. кл./л). Максимальная концентрация (2,151 тыс. кл./л) *A. tamarense* была зафиксирована у поверхности воды в протоке, соединяющей лагуну с морем, на суточной станции в 18 часов, спустя 5 часов после начала прилива. В другое время суток численность клеток этого вида здесь была невысокой – от 0,050 тыс. кл./л (в 10 ч.) до 0,790 тыс. кл./л (в 6 ч.). Вероятно, скопления клеток вида попадали из моря в залив с приливом, но непосредственно в лагуне *A. tamarense* не имел значительного развития. В заливе развивалась динофитовая *D. norvegica*, ее численность в среднем составляла 0,819 тыс. кл./л, достигая максимума у дна – 7,1 тыс. кл./л.

В 2004 г. в узкой прибрежной зоне (до 10–15 м) зал. Анива развитие *A. tamarense* наблюдали по всему заливу с мая по конец июля (рис. 4). В начале мая численность вида у поверхности воды составляла от 0,180 тыс. кл./л у западного побережья залива до 0,690 тыс. кл./л в северной части залива в районе пос. Пригородное. В этом же районе у мыса Юнона, где сбор проб был более частым, отметили два пика развития *A. tamarense* (оба – при численности около 3,500 тыс. кл./л (см. табл.): в конце мая при температуре $7,5^{\circ}\text{C}$ и солёности 30,7‰ и в начале июля при температуре $15,3^{\circ}\text{C}$ и солёности 31,8‰ (рис. 5). К концу июля численность вида заметно снижалась и не превышала 0,150 тыс. кл./л. К середине августа вегетация *A. tamarense* завершалась – вид встречался редко, численность не превышала 0,030 тыс. кл./л. Осенью, в сентябре и октябре, *A. tamarense* чаще всего отсутствовал по всей прибрежной зоне залива. В 2003 г. на полигоне в районе у пос. Пригородное зал. Анива *A. tamarense* встречался с апреля по октябрь. В апреле *A. tamarense* развивался только у берега на глубине 0,5 м. Пик развития вида приходился на июнь (рис. 6). Максимальные концентрации в этом месяце зарегистрированы в поверхностном слое над глубинами 10 м. Период активной вегетации *A. tamarense* был относительно коротким и составлял три месяца – апрель, май, июнь.

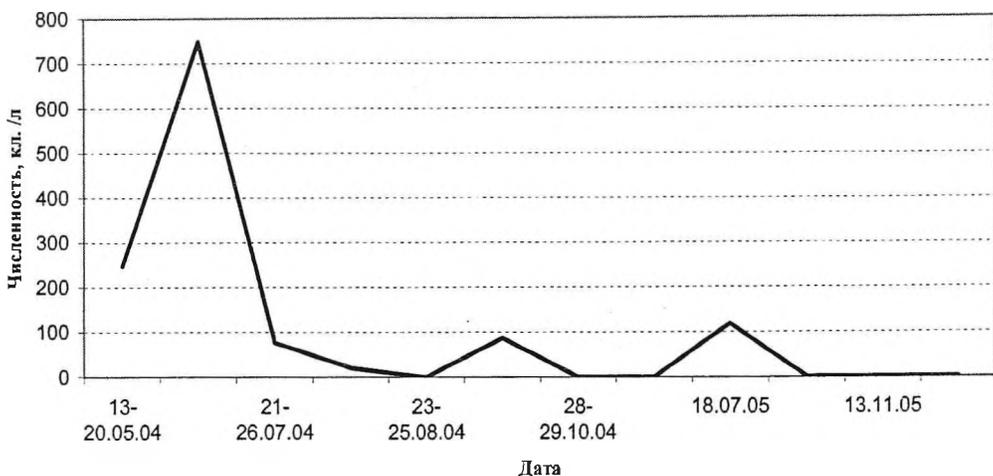


Рис. 4. Сезонное распределение численности *Alexandrium tamarensis* в прибрежной зоне поверхностных вод залива Анива в 2004–2005 гг.

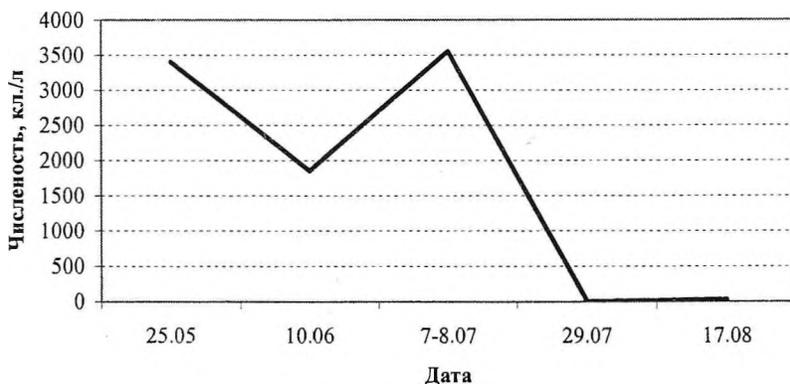


Рис. 5. Сезонное распределение численности *Alexandrium tamarensis* в поверхностных водах у м. Юноны зал. Анива в 2004 г.

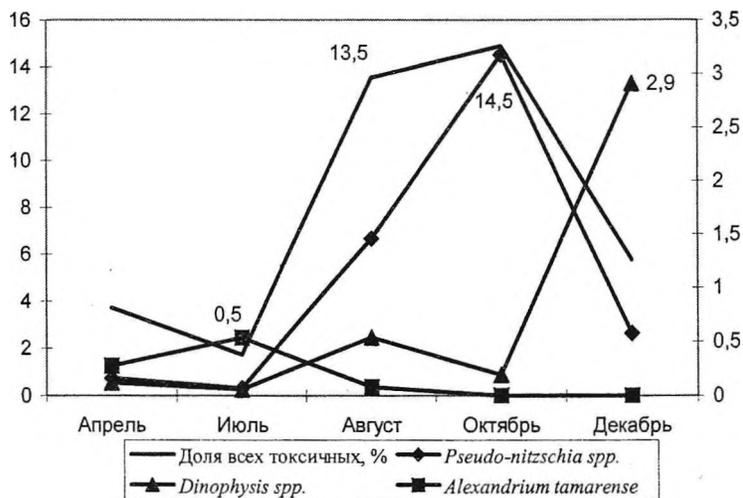


Рис. 6. Сезонное распределение численности токсичных видов (в процентах от общей численности фитопланктона) на полигоне в прибрежной зоне залива Анива в 2003 г.

Динамику развития продуцентов DSP- и ASP-токсинов рассматривали на примере данных, полученных на полигоне в районе у пос. Пригородное в 2003 г. Мас-совое развитие видов рода *Dinophysis* в 2003 г. наблюдалось в течение продолжительного периода – с августа по декабрь (см. рис. 6). В формирование численности этой группы наибольшую долю вносили в августе *D. acuminata* и *D. acuta*, в октябре–декабре – *D. acuminata*, *D. acuta* и *D. fortii*. Максимальные концентрации *D. acuminata* отмечали в октябре у поверхности, *D. fortii* в этом же месяце – на горизонте 20 м, а *D. acuta* – в декабре у поверхности. Еще один вид, продуцирующий DSP-токсин, *P. minimum* имел наиболее длительный период вегетации – с апреля по декабрь, пика развития достигал в августе (см. табл.).

Виды рода *Pseudo-nitzschia* встречались в течение всего периода исследований – с апреля по декабрь (см. рис. 6). Пик развития по численности приходился на октябрь. Численность вида значительно увеличивалась в нижних слоях воды. Максимальные концентрации отмечали на горизонте 0 м (118 тыс. кл./л) и 20 м (104,990 тыс. кл./л) (см. табл.).

Таким образом, в прибрежных водах о. Сахалин токсичные виды имеют широкое распространение. Случаи их массового развития были зарегистрированы неоднократно. Однако скопления с высокой численностью не имели широкого пространственного распространения, за исключением *P. minimum*.

Продуцент PSP-токсина в зал. Анива *A. tamarense* начинал вегетировать в апреле. Имея непродолжительный период активной вегетации, с конца мая по начало июля, к концу июля – началу августа он завершал свое развитие. Севернее по широте – у побережья восточного Сахалина, максимум развития этого вида, вероятно, приходится на более поздний период – на июль. К районам, где происходит массовое скопление *A. tamarense*, относятся прибрежные воды м. Терпения, о. Тюлений и северная часть зал. Анива.

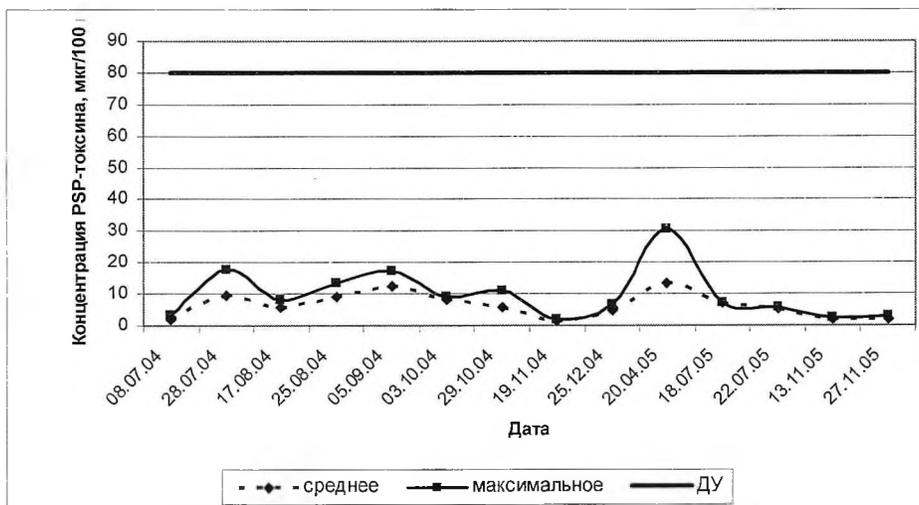
Вегетация видов *Dinophysis* spp., *P. minimum* – продуцентов DSP-токсина, имела продолжительный период – начиналась в апреле и завершалась в декабре. Виды рода *Dinophysis* активно развивались с августа по декабрь. Пики развития видов этой группы в зал. Анива приходились на август и декабрь. Однако наиболее многочисленные скопления клеток наблюдались летом в прибрежных водах северо-восточного шельфа Сахалина в районе зал. Луньский и м. Елизаветы, а также в оз. Изменчивое. Вид *P. minimum* пика развития достигал в августе как у побережья северо-восточного Сахалина, так и в зал. Анива.

Период вегетации видов рода *Pseudo-nitzschia* (продуцентов ASP-токсина) сходен с таковым для видов рода *Dinophysis*. Но наиболее многочисленные скопления видов рода *Pseudo-nitzschia*, главным образом вида *P. pungens*, характерны для зал. Анива.

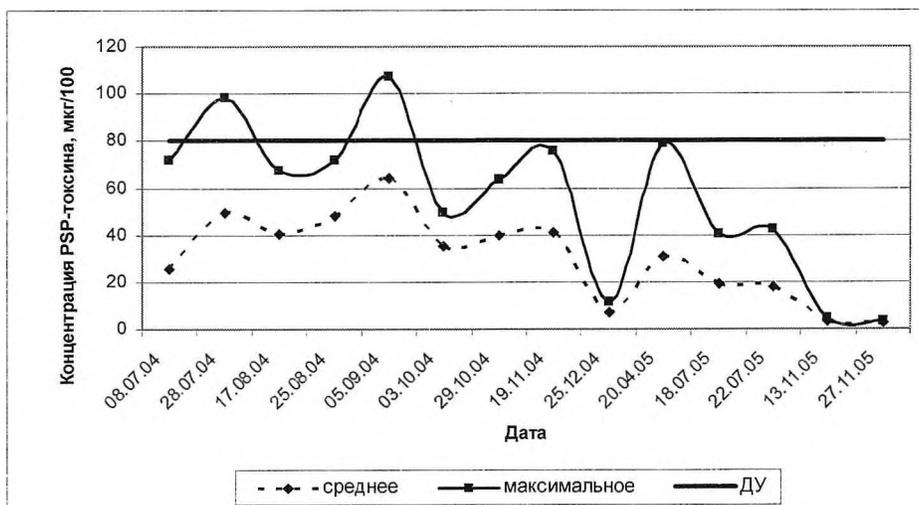
Содержание фикотоксинов в тканях гребешка

В результате проведения исследований тканей гребешка из зал. Анива были определены три вида фикотоксинов.

PSP-токсин был обнаружен во всех проанализированных нами пробах гребешка. В мускуле его содержание всегда было низким (не более 17,2 мкг/100 г). Выявлена некоторая тенденция сезонного накопления сакситоксина. Так, в начале июля 2004 г. среднее количество сакситоксина в мускуле составляло 2,5 мкг/100 г (максимальное – 6,5 мкг/100 г), затем его содержание начинало увеличиваться, достигая максимума в августе (среднее – 12,41 мкг/100 г, максимальное – 17,2 мкг/100 г). В последующие осенние месяцы его уровень постепенно снижался (рис. 7).



А



Б

Рис. 7. Сезонное изменение содержания PSP-токсина в мышце (А) и мантии (Б) гребешка залива Анива в 2004–2005 гг. (ДУ – допустимый уровень)

В мантии исследованных образцов концентрация сакситоксина всегда была выше, чем в мышце. В начале июля содержание PSP-токсина в мантии не превышало 20 мкг/100 г, далее происходило его накопление, и в конце июля, августе и сентябре в некоторых пробах содержание сакситоксина достигало 107,48 мкг/100 г.

В образцах мидий, креветки и анчоусов PSP-токсин был обнаружен в концентрациях 76,6 мкг/100 г, 8,71 мкг/100 г и 5,44 мкг/100 г соответственно. Самый высокий уровень сакситоксина был в гребешке (в мантии) и в мидии (ткани целиком).

При анализе гребешка на присутствие DSP-токсина положительная реакция наблюдалась в семи пробах. Данный токсин обнаружен в мышце, мантии и печени моллюсков в июле 2005 г. и ноябре 2004 и 2005 гг. В эти месяцы в пробах фитопланктона были найдены виды-продуценты оокадаиковой кислоты: *D. rotundata*, *P. minimum*.

ASP-токсин был обнаружен в четырех пробах гребешка зал. Анива, в трех из них концентрация домоиковой кислоты превышала предельно допустимую в 3–5,5 раз. Так, в двух пробах, отобранных в сентябре 2004 г. на восточном побережье, домоиковая кислота была определена на уровне 100–110 мг/кг, а в образцах, взятых в ноябре 2004 г. на западном побережье, концентрация ДК составляла 19 и 65 мг/кг. В остальных восьми пробах гребешка, а также в водорослях и морской воде, данный токсин не присутствовал.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наличие токсичного фитопланктона у берегов Сахалина отмечается во все периоды исследований, но максимум его развития приходится на летне-осенний период, с июня по октябрь, и представляет наибольшую опасность контаминирования и интоксикации организмов. Массовые виды токсичного фитопланктона достигали численности, при которой во многих странах (см. табл.) вводится запрет на добычу морепродуктов (Manual on harmful..., 1995; Andersen, 1996).

Плотность клеток *A. tamarensis* превышала опасные концентрации (Andersen, 1996) в 60 раз в июне 2003 г., в 17 раз в мае, июле 2004 г.; в 10 раз в июне 2004 г. в северной части зал. Анива; в 12–24 раза у м. Терпения и в 24 раза у о. Тюлений в июле 2000 г. (см. табл.). Ранее *A. tamarensis* в заливе Терпения был представлен как *A. catenella* (Селина и др., 2006), что является ошибкой. В действительности *A. catenella* встречается на восточном побережье Сахалина, но массового развития здесь не достигает. К тому же массового развития *A. tamarensis* достигал в июле, а не в июне, как было указано в работе М. С. Селиной с соавторами (2006). Вероятно, в зал. Анива наибольшего развития *A. tamarensis* достигает в июне, что подтверждается данными других исследований (Селина и др., 2005), а на шельфе северо-восточного Сахалина позднее – в июле.

Выявлена тенденция накопления сакситоксина в тканях гребешка в августе–сентябре по сравнению с июнем–июлем. PSP-токсин может присутствовать в тканях моллюсков от 10 дней до одного года (Manual on harmful..., 1995). Это связано с тем, что сакситоксин растворяется в воде и является устойчивым веществом, может накапливаться в тканях моллюсков, особенно в печени, даже при невысокой численности токсичных клеток. Поэтому динамика численности *A. tamarensis* не всегда пропорциональна токсичности моллюсков. Однако моллюски, аккумулировавшие токсины, способны очищаться от них в чистой воде, не содержащей ядовитый планктон, через несколько дней (Демина, Мальдов, 1980). Так, в 1973 г. на Камчатке снижение токсичности мидий, контаминированных сакситоксином, длилось несколько месяцев. Так, вытяжка из моллюсков в августе, когда наблюдался «красный прилив», вызывала гибель подопытных мышей в период спустя 1–2 минуты, в октябре – до 1–1,2 часа, а в ноябре – не вызывала летальных исходов (Куренков, 1974).

Сакситоксин присутствовал во всех исследованных нами образцах и организмах как в период активного развития вида-производителя данного токсина, так и после него. Причем концентрация сакситоксина в мускуле моллюсков не превышала ДУ (80 мкг/100 г), в мантии – была выше в нескольких образцах. По данным ВНИИ питания РАМН, содержание сакситоксина, установленное в гидробионтах, отобранных в Японском море, также не превышало ДУ и составляло в гребешке 5,59 мкг/100 г, в мидии – 5,26 мкг/100 г, в мышцах креветки – 22,6 мкг/100 г (Коханова, 2005). Сакситоксин был обнаружен не во всех анализируемых экземплярах

из Японского моря, а в мышцах креветки был выше, чем в проанализированных нами образцах из зал. Анива.

Массовое развитие видов рода *Dinophysis spp.* отмечено в самый теплый период (в июле – на северо-восточном шельфе Сахалина, в августе – в зал. Анива), что наблюдалось и в другие годы (Селина и др., 2005). Эта особенность группы характерна как для дальневосточных (Селина, 1993; Коновалова, 1998; Морозова и др., 2002), так и для южных морей России (Вершинин и др., 2005). В период развития видов *Dinophysis spp.*, *P. minimum* в нескольких пробах гребешка был обнаружен DSP-токсин. Согласно СанПиНу 2.3.4.050-96, методы тестирования не должны давать положительной реакции на диарейный яд в съедобных частях моллюсков (тело целиком или любая отдельно взятая съедобная часть). Отмеченная нами положительная реакция на DSP-токсин в мускуле, мантии и печени гребешка свидетельствует об опасности диаретического отравления моллюском в прибрежных водах Сахалина.

В зал. Анива *Pseudo-nitzschia spp.*, начиная свое развитие в более теплый период, в октябре достигает максимума. Содержание осенью ASP-токсина в мускуле трех экземпляров гребешка превышало ДУ в 3–5,5 раз. *P. pungens* – самый многочисленный среди токсичных видов в этом районе и способен вызывать «цветение», которое было зарегистрировано ранее, в 2001–2002 гг. (Селина и др., 2005). Установлено, что при численности вида в поверхностных водах в пределах 1,000 тыс. кл./л домоиковая кислота обнаруживается в печени у анчоуса и сардины, потребляющих диатомовые водоросли (Lefebvre, 2002). В Канаде был зафиксирован случай отравления людей мидиями, содержание ASP-токсина в которых составляло 900 мг/кг. Уровень токсина может достигать высоких концентраций без вреда для морских организмов – в морских гребешках: в органах пищеварительной системы – 4300 мг/кг, в остальных тканях – более 150 мг/кг, во внутренних органах анчоусов и сардин – 444 мг/кг, органах краба – 323 мг/кг (Коханова, Хотимченко, 2006).

Скорость синтеза токсинов зависит от наличия и доступности некоторых биогенных элементов – кремния, фосфора, азота, железа. При нехватке этих элементов токсичные виды родов *Pseudo-nitzschia* и *Alexandrium* могут выделять токсины в больших количествах.

В прибрежных водах острова Сахалин явление «цветения» отмечено только для *Pseudo-nitzschia spp.* Что касается других токсичных видов, пока отмечено только их массовое развитие. Тем не менее, установлен факт накопления токсинов в тканях моллюсков даже при невысокой численности вредоносных видов. Это объясняется тем, что уровень содержания токсинов в большей мере зависит от токсичности самих клеток. Выявлено сохранение токсичности моллюсков даже после периода развития вида. Результаты исследований выявили острую необходимость проведения регулярного мониторинга концентрации токсичных микроводорослей, контроля содержания фикотоксинов в моллюсках. Только такие меры позволят обеспечить безопасность людей уже на этапе вылова моллюсков и других объектов промысла.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность всем сотрудникам СахНИРО, принимавшим участие в сборе материала. А также сотрудникам НФ «Щит», ООО «Персей», ООО «Компас Плюс» за неоценимую помощь в проведении научных работ; директору ООО «Стайлаб» А. В. Галкину за всестороннюю помощь и тренинги по выполнению биоанализов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потенциально токсичные водоросли в составе прибрежного фитопланктона северо-восточной части Черного моря в 2001–2002 гг. / **А. О. Вершинин, А. А. Моручков, Т. Лифилд и др.** // *Океанология*. – 2005. – Т. 45, № 2. – С. 240–248.
2. Демина, Н. С. Токсины некоторых морских водорослей (Ryophyta) / **Н. С. Демина, Д. Г. Мальдов** // *Изв. АН СССР, серия биол.* – 1980. – № 2. – С. 254–260.
3. **Киселев, И. А.** Панцирные жгутиконосцы / **И. А. Киселев**. – Л. : Изд-во АН СССР, 1950. – 279 с.
4. Колганова, Т. Н. О фитопланктоне Ныйского залива в августе–сентябре 1996, 1997 гг. / **Т. Н. Колганова, Т. А. Могильникова** // *Материалы XXXIII науч.-метод. конф. преподавателей ЮСГПИ (апр. 1998 г.) : Докл.* – Ю-Сах. : Изд-во ЮСГПИ, 1999. – Ч. II. – С. 110–112.
5. **Коновалова, Г. В.** Динофлагелляты (Dinophyta) дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана / **Г. В. Коновалова**. – Владивосток : Дальнаука, 1998. – 398 с.
6. **Коновалова, Г. В.** «Красные приливы» и «цветение» воды в дальневосточных морях России и прилегающих акваториях Тихого океана / **Г. В. Коновалова** // *Биология моря*. – 1999. – Т. 25, № 4. – С. 263–273.
7. Коновалова, Н. В. Токсичный фитопланктон и содержание биотоксинов в тканях гребешка / **Н. В. Коновалова, Т. А. Могильникова** // *Фундам. исслед.* – 2006. – № 9. – С. 100–103.
8. **Коханова, Ю. А.** Изучение содержания сакситоксина в морепродуктах / **Ю. А. Коханова** // *Материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов «Окружающая среда и здоровье»*. – Суздаль, 2005. – С. 292–293.
9. Коханова, Ю. А. Методы определения домоиковой кислоты в морепродуктах / **Ю. А. Коханова, Т. В. Киселева, С. А. Хотимченко** // *Материалы VIII Всерос. конгр. «Оптимальное питание – здоровье нации»*. – М., 2005. – С. 134.
10. Коханова, Ю. А. Биобезопасность: фикотоксины / **Ю. А. Коханова, С. А. Хотимченко** // *Вопр. питания*. – 2006. – № 2. – С. 6–22.
11. **Куренков, И. И.** Красный прилив в Авачинской бухте / **И. И. Куренков** // *Рыб. хоз-во*. – 1974. – № 4. – С. 20–21.
12. **Лебедев, С. П.** Внимание: «Красный прилив»! / **С. П. Лебедев** // *Рыб. хоз-во*. – 1968. – № 5. – С. 19–20.
13. Матишов, Г. Г. К проблеме вредоносных «цветений воды» в Азовском море / **Г. Г. Матишов, Т. В. Фуштей** // *Исследовано в России [Электронный ресурс]*. – 2003. – № 2. – С. 213–225. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/022.pdf>.
14. Морозова, Т. В. Фитопланктон в районе хозяйства марикультуры бухты Миносок залива Посьета Японского моря / **Т. В. Морозова, Т. Ю. Орлова, М. С. Селина** // *Биология моря*. – 2002. – Т. 28, № 2. – С. 107–112.
15. Орлова, Т. Ю. Видовой состав микроводорослей планктона охотоморского побережья острова Сахалин / **Т. Ю. Орлова, М. С. Селина, И. В. Стоник** // *Биология моря*. – 2004. – Т. 30, № 2. – С. 96–104.
16. **Орлова, Т. Ю.** Красные приливы и токсические микроводоросли в дальневосточных морях России / **Т. Ю. Орлова** // *Вестн. ДВО РАН*. – 2005. – № 1. – С. 27–31.
17. **Ошурков, В. В.** Есть ли мидию? / **В. В. Ошурков** // *Химия и жизнь*. – 1990. – № 6. – С. 56–57.
18. **Селина, М. С.** Распределение потенциально токсичных динофитовых водорослей рода *Dinophysis* в заливе Восток Японского моря / **М. С. Селина** // *Биология моря*. – 1993. – № 5–6. – С. 23–26.
19. Селина, М. С. Дополнение к флоре микроводорослей планктона Охотского моря / **М. С. Селина, Т. Ю. Орлова** // *Ботанический журн.* – 2001. – Т. 86, № 9. – С. 28–32.
20. Сезонная и межгодовая изменчивость видового состава фитопланктона залива Анива Охотского моря / **М. С. Селина, И. В. Стоник, Г. А. Кантаков, Т. Ю. Орлова** // *Тр. СахНИРО*. – 2005. – Т. 7. – С. 179–196.

21. Род *Alexandrium* Halim, 1960 (Dinophyta) у тихоокеанского побережья России: видовой состав, распределение, динамика / М. С. Селина, Г. В. Коновалова, Т. В. Морозова, Т. Ю. Орлова // Биология моря. – 2006. – Т. 32, № 6. – С. 384–394.
22. Стоник, И. В. Виды рода *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) из залива Петра Великого Японского моря / И. В. Стоник, Т. Ю. Орлова, О. Г. Шевченко // Биология моря. – 2001. – Вып. 27, № 6. – С. 416–420.
23. Федоров, В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности / В. Д. Федоров. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1979. – 168 с.
24. Andersen, P. Design and implementation of some harmful algae monitoring systems / P. Andersen // IOC Techn. Ser. UNESCO. – 1996. – No. 44. – P. 1–102.
25. Hallegraeff, G. M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase / G. M. Hallegraeff // Phycologia. – 1993. – No. 32. – P. 79–99.
26. Identifying marine diatoms and dinoflagellates / Edited by C. R. Tomas. – Academic Press, Inc.-USA, 1996. – 598 p.
27. Konovalova, N.V. The phytoplankton of Tunaicha Lake (Southern Sakhalin) / N. V. Konovalova, I. V. Motylkova // Proceedings of the 21th international symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. The Okhotsk Sea & Cold Ocean Research Association. – Mombetsu, Hokkaido, Japan, 2003. – P. 200–204.
28. Domoic acid in planktivorous fish in relation to toxic *Pseudo-nitzschia* cell densities / K. A. Lefebvre, M. W. Silver, S. L. Coale, R. S. Tjeerdema // Marine Biology. – 2002. – No. 140. – P. 625–631.
29. Manual on harmful marine microalgae / Ed. by G. M. Hallegraff, D. M. Anderson, A. D. Cembella. – UNESCO, 1995. – 551 p.
30. Mogilnikova, T. A. Saxitoxins content in the Aniva Bay scallops caused by seasonal blooming of toxic phytoplankton / T. A. Mogilnikova, N. V. Konovalova // Fourteenth Annual Meeting of North Pacific Marine Science Organization (PICES) September 29 – October 9, 2005, Vladivostok : Abstracts. – Russia, Vladivostok, 2005. – P. 194.
31. Orlova, T. Yu. Bloom-forming diatom *Pseudo-nitzschia pungens* in Amurskii Bay (the Sea of Japan): Morphology, ecology and biochemistry / T. Yu. Orlova, N. V. Zhukova, I. V. Stonik // Harmful and Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. – UNESCO Publishers, 1996. – P. 147–150.
32. Orlova, T. Species of the genera *Alexandrium* and *Pseudo-nitzschia* from the east coast of Russia / T. Orlova, M. Selina, I. Stonik // Fourteenth Annual Meeting of North Pacific Marine Science Organization (PICES), September 29 – October 9, 2005, Vladivostok : Abstracts. – Russia, Vladivostok, 2005. – P. 204.
33. Shimada, H. Spatial distribution of *Alexandrium tamarense* in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan / H. Shimada, T. Hayashi, T. Mizushima // Harmful and Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. – UNESCO Publishers, 1996. – P. 219–226.
34. Yasumoto, T. Comparison of bloom patterns of *Alexandrium tamarense* between two bays in Iwate prefecture, northern Japan, in association with the toxicity of the scallop / T. Yasumoto, Y. Oshima, Y. Fukuyo // Harmful and Toxic Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. – UNESCO Publishers, 1996. – P. 223–226.

Могильникова, Т. А. О развитии массовых токсичных видов фитопланктона и содержании фикотоксинов в тканях гребешка *Mizuhopecten yessoensis* (Jay) в прибрежных водах о. Сахалин / Т. А. Могильникова, И. В. Мотылькова, Н. В. Коновалова // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2007. – Т. 9. – С. 207–222.

В 2003–2005 гг. исследовано развитие массовых микроводорослей – продуцентов ASP-, PSP-, DSP-токсинов у побережья о. Сахалин. Установлено, что в тканях гребешка в период и после вегетации видов продуцентов в некоторых образцах содержание ASP-токсина превышало допустимый уровень в мускуле, PSP-токсина – в мантии. Также была отмечена положительная реакция на DSP-токсин в органах нескольких экземпляров гребешка.

Табл. – 1, ил. – 7, библиогр. – 34.

Mogilnikova, T. A. Development of common toxic phytoplankton species and contents of phycotoxins in tissues of scallop *Mizuhopecten yessoensis* (Jay) in the coastal Sakhalin waters / **T. A. Mogilnikova, I. V. Motylkova, N. V. Konovalova** // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2007. – Vol. 9. – P. 207–222.

In 2003–2005, development of common microalgae – producers of ASP-, PSP-, and DSP-toxins have been studied along the Sakhalin coast. It was established that some scallops' samples had an excess level of toxins during and after vegetation of species-producers: ASP-toxin in muscle and PSP-toxin in mantle. A positive reaction on DSP-toxin was also observed for several scallop specimens.

Tabl. – 1, fig. – 7, ref. – 34.