

УДК 628.394.1:574.632(265.54)

Л.В. Нигматулина¹, А.П. Черняев^{1,2*}

¹ Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;

² Школа естественных наук Дальневосточного федерального университета,
690091, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 27

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ЗАЛИВА ПОСЬЕТА (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Проанализированы данные по оценке воздействия хозяйственной деятельности на акваторию зал. Посьета (зал. Петра Великого, Японское море). Определены объемы сброса сточных вод от береговых источников и масса загрязняющих веществ, поступающих с ними. Рассчитан удельный показатель воздействия загрязняющих веществ для зал. Посьета, который составил 0,081 г/м³. Представлены результаты распределения общих углеводородов в водах зал. Посьета, их содержание варьировало от 0,025 до 0,065 мг/л. Исследования по биотестированию качества вод показали, что наибольшее ингибирующее действие на процесс биссусообразования у мидии Грея оказывала морская вода из проб, взятых в бухте Рейд Паллада.

Ключевые слова: залив Посьета, сточные воды, загрязняющие вещества, общие углеводороды, мидия Грея, биотестирование, процесс биссусообразования.

Nigmatulina L.V., Chernyaev A.P. Pollution of the coastal waters in the Possyet Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea) in conditions of current economic activity // *Izv. TINRO.* — 2015. — Vol. 182. — P. 162–171.

Impact of economic activity on environment quality is assessed for the coastal waters of the Possyet Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea). Total volume of the sewage water discharged from coastal sources to the bay and total amount of principal pollutants wasting this water body are calculated. Specific index of sewage for the Possyet Bay is estimated as 0.081 g/m³ that is rather high value. Distribution of petroleum hydrocarbons in the coastal waters is considered: their concentration ranges from 0.025 to 0.065 mg/L. Following to biotesting results, the worst water quality is in the Reid Pallada Bay where the highest inhibitory effect on the byssus thread formation of mussel *Crenomytilus grayanus* is observed.

Key words: Possyet Bay, sewage water, pollutant, petroleum hydrocarbon, mussel *Crenomytilus grayanus*, biotesting, byssus thread formation.

Введение

В настоящее время зал. Посьета остается основным центром воспроизводства беспозвоночных в масштабах всего Приморья (Григорьева, 2012).

* Нигматулина Людмила Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: lvnigm@mail.ru; Черняев Андрей Павлович, кандидат химических наук, старший научный сотрудник, e-mail: chernyaev@tinro.ru.

Nigmatulina Ludmila V., Ph.D., researcher, e-mail: lvnigm@mail.ru; Chernyaev Andrey P., Ph.D., senior researcher, e-mail: chernyaev@tinro.ru.

Вместе с тем прибрежные воды залива принимают и ассимилируют весь объем загрязнений, поступающих с морских берегов и речных бассейнов. Локальными аккумуляторами антропогенного загрязнения становятся бухты и заливы, в которых размещена портовая инфраструктура. Нарастание объемов транспортных операций определяет риск аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, связанных с танкерными операциями*.

Цель данной работы — современная оценка объемов сброса сточных вод (СВ) и загрязняющих веществ (ЗВ), поступающих с ними от береговых источников, в зал. Посъета, определение содержания общих углеводов (ОУВ) в водах исследованных акваторий и оценка качества морских вод методом биотестирования, с использованием в качестве тест-объекта мидии Грея *Crenomytilus grayanus*, посредством тест-функции (образование биссусных нитей).

Материалы и методы

Объем СВ, поступающих в бухты Троицы, Экспедиции, Новгородская, Постовая, а также зал. Китовый, был определен на основе данных государственной статистической отчетности по использованию воды (форма 2ТП-водхоз) за 2013 г. Рассматривались хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды от береговых предприятий.

Масса ЗВ, поступающих с СВ, рассчитана в соответствии с технологическими схемами производств и видом очистки стоков для каждого предприятия (Укрупненные нормы ..., 1978**; Канализация ..., 1981***; Черных, Сидоренко, 2003).

Значения ПДК загрязняющих веществ, поступающих с СВ, взяты по перечню рыбохозяйственных нормативов для водных объектов, имеющих рыбохозяйственную ценность****.

Материалами для определения содержания общих углеводов являлись пробы морской воды, отобранные на 4 станциях, расположенных в зал. Посъета (Банка Клыкова, зал. Китовый, коса Назимова, бухта Рейд Паллада), в августе 2013 г. В качестве фоновых использовали пробы морской воды, отобранной в условно чистом районе у о. Рейнеке (зал. Петра Великого).

Определение содержания общих углеводов проводили на ИК-спектрофотометре фирмы Shimadzu IRAffinity-1 (Япония) в трех параллелях. Для построения градуировочного графика в качестве стандарта использовали ОУВ, извлеченные из исследуемой воды. Используемый метод применим для анализа природных вод или промышленных стоков при концентрации ОУВ от 0,005 мг/дм³*****.

Изучение влияния загрязненных морских вод зал. Посъета (станции — Банка Клыкова, зал. Китовый, коса Назимова, бухта Рейд Паллада) на процесс биссусообразования у мидии Грея проводили в аквариальной научно-экспериментальной биостанции ТИНРО-центра, о. Рейнеке, зал. Петра Великого. Мидий отбирали с глубины 2 м, очищали поверхность раковины от эпибионтов и аккуратно, без повреждения биссусного ствола, удаляли биссусные нити. После этого одноразмерных моллюсков (6–7 см) акклимировали к условиям эксперимента в течение одних суток, отбраковывая нежизнеспособные особи, и помещали на дно 10-литрового аквариума с морской водой из исследуемых районов по две особи в каждый. Контролем служила морская

* Комплексные исследования больших морских экосистем России. Апатиты: КНЦ РАН, 2011. 516 с.

** Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. М.: Стройиздат, 1978. 590 с.

*** Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.

**** Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.

***** Руководство по химическому анализу морских вод: РД 52.10.243-92. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 264 с.

вода, отобранная в условно чистом районе у о. Рейнеке. Температурный и кислородный режим, а также соленость воды контролировали ежедневно, гидролого-гидрохимические параметры соответствовали природным. Длительность эксперимента — 96 ч (Методические указания ..., 2009*).

Подсчет биссусных нитей проводили визуально каждые 24 ч в контроле и опыте. В эксперименте учитывали моллюсков, которые не отбрасывали биссус и продуцировали в течение всего периода наблюдений хотя бы одну биссусную нить. По завершении эксперимента определяли среднее количество биссусных нитей в расчете на одну особь. Полученные данные сравнивали с контролем.

Статистическая обработка включала в себя оценку всех результатов анализа и анализ разбросов ошибки от средней величины. Расчет производился при помощи описательной статистики из пакета анализа данных Microsoft Excel 2003.

Результаты и их обсуждение

Поступление загрязняющих веществ со сточными водами от береговых источников

По данным водного бассейнового управления Росводресурсов по Приморскому краю (государственная статистическая отчетность по использованию воды, форма 2ТП-водхоз) в зал. Посьета в 2013 г. осуществляли сброс СВ 6 предприятий — ООО «Зарубинская база флота», ООО «Морской порт», тепловой район «Хасанский» КГУП «Примтеплоэнергия», ОАО «Славянка», торговый порт «Посьет», ООО «Акватехнологии».

Схема района работ приведена на рис. 1.



Рис. 1. Карта-схема района работ в зал. Посьета: *стрелки* — выпуски сточных вод; *цифры* — станции отбора проб

Fig. 1. Scheme of sampling in the Posyet Bay: *arrows* — wastewater discharges; *numbers* — sampling stations

В 2013 г. общий объем СВ, поступающих в зал. Посьета, составлял порядка 1184,22 тыс. м³/год, из них без очистки — 323,24 тыс. м³/год (27 %); недостаточно очищенных —

* Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: Федеральное агентство по рыболовству, 2009. 136 с.

793,06 (67%); нормативно чистых (без очистки) — 67,92 тыс. м³/год (6% от общего сброса СВ). Наибольшее количество СВ сбрасывается в бухты Экспедиции и Троицы — соответственно 68 и 19% от общего сброса. Годовой объем СВ, сбрасываемых от береговых источников в отдельные участки зал. Посьета, представлен в табл. 1.

Таблица 1
Количество сточных вод, сброшенных в отдельные участки зал. Посьета в 2013 г., тыс. м³

Table 1
Volume of sewage water discharged to certain areas of the Possyet Bay in 2013, 10³ m³

Водный объект	Всего	Загрязненных		Нормативно чистых (без очистки)	Нормативно чистых на сооружениях очистки	
		Без очистки	Недостаточно очищенных		Механической	Биологической
Бухта Троицы	226,71	196,07	20,72	9,92	—	—
Бухта Экспедиции	807,05	107,36	699,69	—	—	—
Бухта Новгородская	19,81	19,81	—	—	—	—
Зал. Китовый	65,61	—	65,61	—	—	—
Бухта Постовая	65,04	—	7,04	58,0	—	—
Всего по заливу	1184,22	323,24	793,06	67,92	—	—
Доля, %	100	27	67	6	—	—

Следует отметить, что за период с 1988 по 2012 г. весь объем сточных вод от береговых предприятий сбрасывался в залив без очистки. В 2013 г. около 73% сточных вод перешли в категорию недостаточно очищенных (прошедшие механическую очистку) и нормативно чистых (без очистки).

Наибольшее количество СВ сбрасывают предприятия водно-коммунального хозяйства (тепловой район «Хасанский» и филиал уссурийского ОАО «Славянка»), что составляет порядка 75% от общего стока.

Динамика поступления СВ в зал. Посьета от береговых источников представлена на рис. 2.

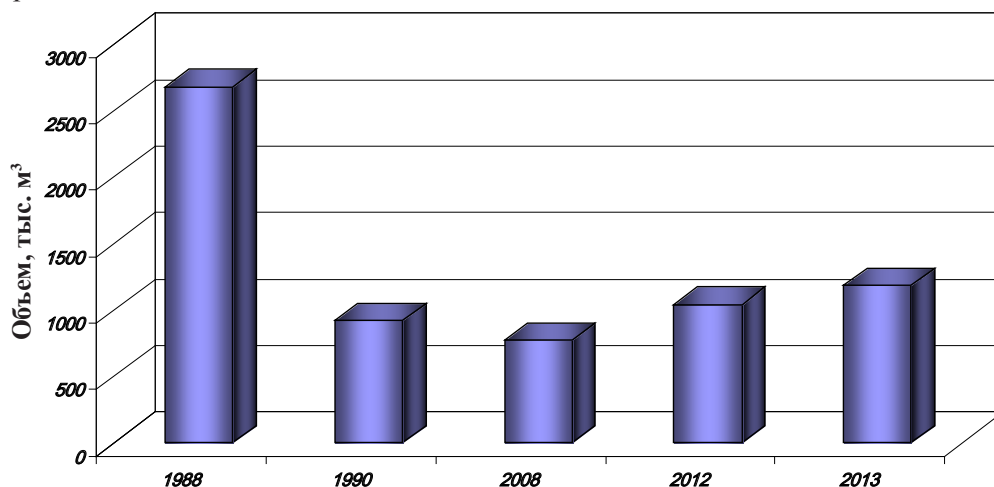


Рис. 2. Динамика поступления сточных вод в зал. Посьета
Fig. 2. Dynamics of sewage to the Possyet Bay

По сравнению с 1988 г. объем СВ, поступающий в зал. Посьета, уменьшился на 1496,78 тыс. м³/год (с 2681,0 тыс. м³/год в 1988 г. до 1184,22 тыс. м³/год в 2013 г.). Этот факт объясняется в первую очередь спадом и сокращением производства в ряде отраслей хозяйства, который пришелся на 1996–2001 гг. и продолжался далее. Однако с 2012 г. произошло увеличение сброса СВ на 145,32 тыс. м³/год. Это связано с увеличением поступления СВ от теплового района «Хасанский».

Таким образом, 94% СВ, сбрасываемых в зал. Посьета, имеют категорию «без очистки» и «недостаточно очищенные».

По экспертным данным, с СВ в зал. Посыета поступило 700,875 т ЗВ 21 наименования (табл. 2).

Таблица 2
Поступление загрязняющих веществ со сточными водами в отдельные акватории зал. Посыета в 2013 г., т

Table 2

Pollutants emission from sewage water to the Possyet Bay in 2013, t

Наименование загрязняющих веществ	Бухта Троицы $V_{СВ} = 226,71$ тыс. м ³ /год	Бухта Экспедиции $V_{СВ} = 807,05$ тыс. м ³ /год	Бухта Новгородская $V_{СВ} = 19,81$ тыс. м ³ /год	Зал. Китовый $V_{СВ} = 65,61$ тыс. м ³ /год	Бухта Постовая $V_{СВ} = 65,04$ тыс. м ³ /год	Σ % от общего сброса
БПК _{полн}	34,60	135,01	3,27	9,84	1,93	<u>184,65</u> 26,3
Взвешенные вещества	76,17	110,80	7,28	7,87	1,54	<u>203,66</u> 29,2
Жиры	6,64	25,28	0,40	1,97	1,95	<u>36,24</u> 5,2
Нефтепродукты	0,05	0,22	0,01	0,02	–	<u>0,30</u> < 0,1
СПАВ	0,21	7,37	0,02	0,59	0,29	<u>8,48</u> 1,2
Азот общий	0,97	29,32	–	2,30	1,70	<u>34,29</u> 4,9
Азот аммонийный	0,70	24,21	1,31	1,97	1,08	<u>29,27</u> 4,2
Нитраты	0,03	5,20	–	0,34	0,01	<u>5,58</u> 0,8
Нитриты	–	0,40	–	0,04	0,002	<u>0,442</u> < 0,1
Фосфор общий	7,84	12,11	–	0,98	0,81	<u>21,74</u> 3,1
Фенол	–	0,005	0,001	0,001	–	<u>0,007</u> < 0,1
Сульфаты	25,25	72,63	2,28	5,90	5,27	<u>111,33</u> 15,9
Хлориды	23,80	28,25	2,28	2,30	2,28	<u>58,91</u> 8,4
Алюминий	0,018	0,400	–	0,030	0,033	0,481
Железо	0,837	1,210	0,08	0,098	0,070	2,295
Цинк	0,203	0,170	0,02	0,013	0,004	0,410
Медь	0,202	0,012	0,02	0,001	0,001	0,236
Свинец	0,002	0,043	–	0,003	0,001	0,049
Никель	0,996	0,090	0,10	0,007	0,005	1,198
Хром	0,996	0,090	0,10	0,007	0,003	1,196
Кадмий	0,101	–	0,01	–	–	0,111
Σ металлов	3,355	2,015	0,330	0,159	0,117	<u>5,976</u> 0,8
Всего	179,615	452,820	17,181	34,280	16,979	700,875
Доля, % от общего сброса	25,6	64,6	2,5	4,9	2,4	100

Примечание. $V_{СВ}$ — объем сточных вод.

Наибольшая массовая доля приходится на взвешенные — 203,66 т (29,2 %) и органические (по БПК_{полн}) — 184,65 т (26,3 %) вещества; далее следуют сульфаты — 111,33 т (15,9 %), неорганические биогенные вещества (азот общий, азот аммонийный, нитриты, нитраты, фосфор общий) — 91,322 т (13,0 %), хлориды — 58,91 т (8,4 %), жиры — 36,24 т (5,2 %), СПАВ — 8,48 т (1,2 %), металлы (Al, Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Cd, Pb) — 5,976 т (0,8 %), на долю фенолов и нефтепродуктов приходится 0,307 т (< 0,1 % от суммарного сброса ЗВ).

Порядка 90 % всего суммарного сброса ЗВ поступает в бухты Экспедиции и Троицы.

Соотношение поступления ЗВ с СВ по видам хозяйственной деятельности представлено в табл. 3.

Таблица 3

Соотношение поступления загрязняющих веществ со сточными водами в зал. Посыета по отдельным видам хозяйственной деятельности в 2013 г.

Table 3

Ratio of pollutants from sewage water to the Possyet Bay, by types of economic activity in 2013

Вид хозяйственной деятельности	Масса загрязняющих веществ, т	Доля, % от общего сброса
Порты	191,442	27,3
Водно-коммунальное хозяйство	492,454	70,3
Промышленность	16,979	2,4
Всего	700,875	100

Динамика сброса ЗВ с СВ от береговых источников приведена на рис. 3.

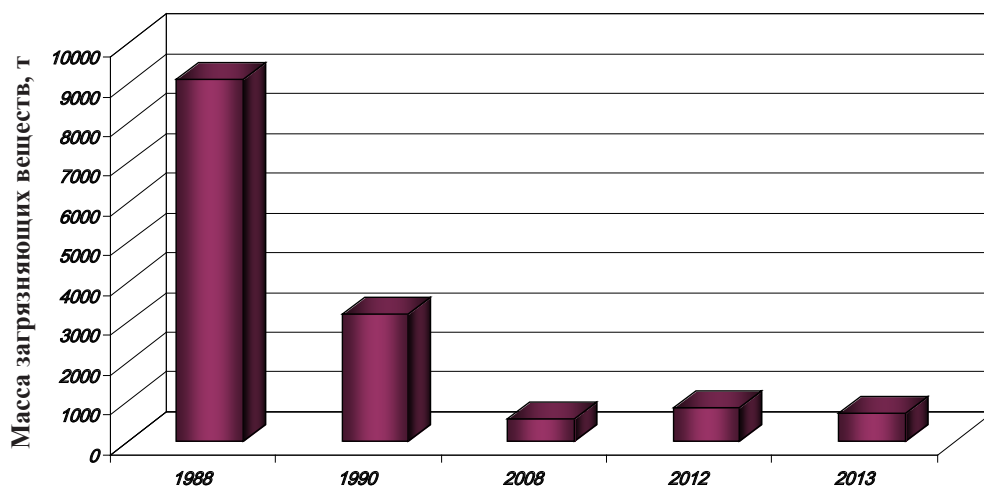


Рис. 3. Динамика поступления загрязняющих веществ со сточными водами в зал. Посыета
Fig. 3. Dynamics of pollutants emission from sewage water to the Possyet Bay

Сила воздействия суммарных сбросов ЗВ характеризуется удельными показателями воздействия, которые рассчитываются как отношение массы веществ, сбрасываемых в прибрежные воды, к единице объема*.

Поскольку объем зал. Посыета составляет $8,6 \cdot 10^9 \text{ м}^3$, а годовое поступление ЗВ по экспертной оценке в 2013 г. составило 700,875 т, то на 1 м^3 вод залива приходится 0,081 г ЗВ. Аналогичный показатель для бухты Золотой Рог равен $422,900 \text{ г/м}^3$, для Амурского залива — 2,230, для Уссурийского залива — 0,095, для зал. Находка — $0,830 \text{ г/м}^3$.

Существенное влияние на поведение загрязняющих веществ в прибрежной зоне оказывает плотностная стратификация морских вод. Если стоки сбрасываются на мелководье, в однородной толще вод, они всплывают на поверхность и распространяются по поверхности моря. Гидрофизические процессы, происходящие в прибрежной зоне (на шельфе) способствуют переносу загрязняющих веществ или по профилю, или вдоль изобат. Самоочищения моря в полном смысле этого термина не происходит, гидрофизические процессы лишь разбавляют и перераспределяют загрязняющие вещества, но не удаляют их из моря**.

* Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 году». М.: Гос. центр экол. программ, 1999. 574 с.

** Моделирование процессов самоочищения вод шельфовой зоны моря. Л.: Гидрометеопиздат, 1991. 230 с.

Содержание общих углеводородов в прибрежных водах зал. Посьета

Проблема нефтяного загрязнения актуальна для зал. Посьета, так как на его побережье функционируют три порта — Морской порт, Зарубинская база флота и торговый порт «Посьет». Тяжелая экономическая ситуация в стране за последние 20 лет сказалась на состоянии флота, работе портовых и судоремонтных служб, увеличивая риск возникновения аварийных утечек и разливов нефти. Судходство, строительство и расширение портов вызывают загрязнение водной среды, в первую очередь нефтепродуктами. В портах нефтепродукты поступают со сбросами углеводородсодержащих вод из льял машинного отделения, вод, используемых для мойки грузовых и производственных помещений, механизмов и устройств с загрязненным водным балластом, хозяйственно-бытовыми водами и мусором, отходами от сепарации топлива и масла (Айбулатов, 2005).

Значительный вклад в загрязнение зал. Посьета вносит и р. Туманная, 70 % водосбора которой приходится на территорию Китая, почти 29 % — КНДР и менее 1 % — России (всего 16 км из 549 км общей протяженности реки). В нижнем ее течении отмечается крайне высокий уровень загрязнения бытовыми, сельскохозяйственными и промышленными стоками, основу которых составляют неочищенные сбросы целлюлозной, химической, металлургической и горнодобывающей промышленности КНР. Объемы сброса неочищенных СВ в р. Туманную ежегодно увеличиваются в связи с динамичным развитием соседней китайской провинции Цзилинь, где отмечается ежегодный прирост населения на 25 %, а объемы капиталовложений в промышленность за последние годы выросли в 10 раз (Ганзей, 2004; Адрианов, Тарасов, 2007).

Побережье залива — излюбленное место отдыха туристов, вследствие этого поступление нефтеуглеродов в морскую среду при эксплуатации многочисленных моторных лодок и прогулочных катеров может составлять более 2 % от общего объема всех УВ, поступающих в прибрежные воды (Прибрежно-морское природопользование ..., 2010).

По прогнозным оценкам, в условиях реализации крупных энергетических и транспортных проектов в рамках государственной программы развития Дальневосточного региона только на акватории зал. Петра Великого (Японское море) будет осуществляться перегрузка 80 млн т нефти в год, что неминуемо приведет к попаданию в морскую среду залива тысяч тонн нефтеуглеродов (Адрианов, Тарасов, 2007).

В табл. 4 представлены данные по содержанию УВ в исследованных участках зал. Посьета.

Таблица 4

Концентрация общих углеводородов в водах зал. Посьета

Table 4

Concentration of total hydrocarbons in the seawater of the Possyet Bay

Район отбора проб воды	Средние концентрации ($n = 3$) \pm стандартное отклонение, мг/л
О. Рейнеке (условно-фоновая станция)	0,025 \pm 0,003
Банка Клыквова	0,053 \pm 0,005
Зал. Китовый	0,050 \pm 0,004
Коса Назимова	0,057 \pm 0,005
Бухта Рейд Паллада	0,065 \pm 0,005

Максимальная концентрация — 0,065 мг/л — отмечена в водах бухты Рейд Паллада, минимальная — 0,050 мг/л — в зал. Китовом. В среднем концентрации УВ в исследованных акваториях превышают значение содержания данных поллютантов в водах условно-фоновой станции (о. Рейнеке) в 2,0–2,6 раза.

По существующим нормам ПДК нефти в водоемах рыбохозяйственного значения не должно превышать 0,05 мг/л. При этом даже в концентрациях значительно ниже предельно допустимых нефть обладает выраженным мутагенным и ингибирующим действием, оказывает губительное воздействие на морские биоценозы.

Таким образом, содержание УВ в водах исследованных акваторий зал. Посьета достигает, а в бухте Рейд Паллада превышает ПДК нефтепродуктов в воде, что может в целом негативно отразиться на функционировании экосистемы залива.

Двустворчатые моллюски, в том числе мидии, благодаря способности накапливать в больших количествах загрязняющие вещества широко используются в биомониторинге природных вод (Farrington et al., 1983; Shigenaka, Henry, 1993).

По показателю выживаемости мидии обладают высокой токсикорезистентностью ко многим типам загрязнения. Наряду с этим пороговая чувствительность по некоторым показателям физиологической активности этого моллюска находится на уровне ПДК вещества для водных объектов рыбохозяйственного значения. Широкая распространенность и низкая смертность при изменении абиотических факторов позволяют легко добывать экспериментальный материал и содержать мидий в лабораторных условиях. В то же время повышенная чувствительность физиологических функций к действию токсикантов позволяет с большой точностью определять пригодность водной среды для жизнедеятельности моллюсков. Для регистрации показателей токсичности природных вод одна из основных тест-функций для мидий — биссусный тест*.

Известно, что одними из основных загрязняющих веществ в морской воде являются нефтеуглеводороды. В литературе описывается множество примеров воздействия компонентов нефти на двустворчатых моллюсков. Последствиями таких воздействий являются, например, гибель организмов, неправильное личиночное развитие, атрофия эпителия, изменения в потреблении кислорода, питании, выделении, росте, а также отделение от субстрата (Widdows et al., 1982; McDowell, 2005). Более того, даже при низких концентрациях углеводородов нефти скорость образования биссусных нитей ювенильными и взрослыми особями мидий снижена, что приводит к ослабленному прикреплению к субстрату (Ikävalko, 2005).

Мидии Грея *Crenomytilus grayanus* при содержании в аквариальных условиях обладали способностью прикрепляться к стенкам аквариума посредством биссусных нитей и дисков. Образование биссусных нитей у моллюсков при их повторном прикреплении к субстрату наблюдалось с первого дня эксперимента. Количество биссусных нитей было прямо пропорционально времени содержания в аквариумах.

Динамика биссусообразования в исследованных пробах морской воды представлена на рис. 4, результаты биотестирования приведены в табл. 5.

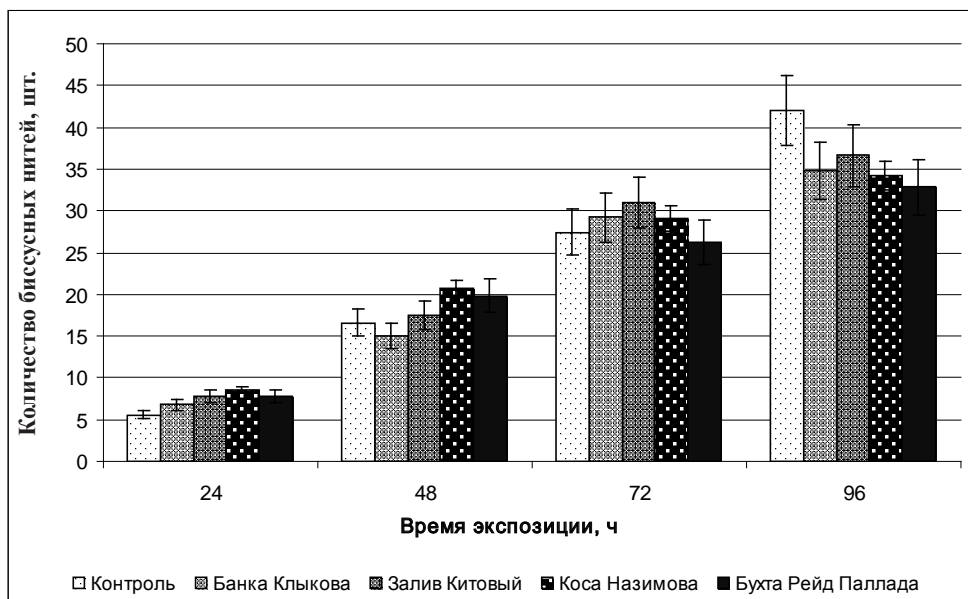


Рис. 4. Динамика биссусообразования в пробах морской воды зал. Посьета
Fig. 4. Dynamics of byssus thread formation in the coastal waters of the Possyet Bay

* Методические указания ... (2009).

Results of bioassay in the coastal waters of the Possyet Bay (96 hours exposition)

Станция	№ мидии п/п	Количество биссусных нитей, шт.	Нср.	t-критерий Стьюдента рассчитанный	Количество степеней свободы	t-критерий Стьюдента при $p = 0,95$
Банка Клыкова	1	51	34,8	1,20	10	2,23
	2	35				
	3	17				
	4	47				
	5	24				
	6	34,8				
Зал. Китовый	1	43	36,3	1,00	10	2,23
	2	48				
	3	40				
	4	32				
	5	40				
	6	15				
Коса Назимова	1	55	34,2	0,80	10	2,23
	2	4				
	3	27				
	4	45				
	5	62				
	6	12				
Бухта Рейд Паллада	1	29	32,8	1,50	10	2,23
	2	35				
	3	47				
	4	26				
	5	12				
	6	48				
Контроль (побережье о. Рейнеке)	1	38	42,0	-	-	-
	2	43				
	3	36				
	4	39				
	5	42				
	6	54				

После 96 ч экспозиции в контроле (морская вода о. Рейнеке) среднее число биссусных нитей в пересчете на 1 особь составляло 42 шт. Концентрация УВ в морской воде в этом районе составила 0,025 мг/л, что в 2 раза ниже ПДК.

Наибольший ингибирующий эффект воздействия наблюдался при экспозиции в пробах морской воды, отобранной в бухте Рейд Паллада, — мидии в среднем образовали 32 биссусных нити. Это являлось минимальным значением при максимально обнаруженной концентрации УВ в воде — 0,06 мг/л (1,3 ПДК) (рис. 4).

По мере убывания ингибирующего эффекта исследуемые пробы морской воды распределились следующим образом: Бухта Рейд Паллада < коса Назимова < банка Клыкова < зал. Китовый.

Статистическая обработка полученных экспериментальных данных с применением критерия Стьюдента показала, что наблюдаемое различие между сравниваемыми выборками не выходит за пределы экспериментальной ошибки и не является статистически достоверным. Исследованные акватории зал. Посъета расположены в непосредственной близости друг от друга, имеют общий гидрологический режим и испытывают практически одинаковый антропогенный пресс, что не позволило статистически достоверно ранжировать исследованные акватории по уровню загрязнения.

Следует отметить, что ингибирование процесса биссусообразования у мидий Грея вызывает весь спектр токсических веществ, присутствующих в морских водах

исследованных районов. Необходимо учитывать, что ежегодное поступление ЗВ с СВ в воды зал. Посъета менее 1 г на 1 м³, а более 70 % ЗВ сбрасывают предприятия водно-коммунального хозяйства, и основной состав — биогенные элементы и малотоксичные вещества. Таким образом, наибольшим ингибирующим эффектом на процесс биссусообразования у мидии Грея будут обладать именно углеводороды антропогенного происхождения, содержащиеся в водах исследованных акваторий зал. Посъета, что подтверждается рассчитанным коэффициентом корреляции между содержанием УВ в морской воде и ингибирующим действием на процесс биссусообразования у мидии Грея, $R = 0,998$ (прямая зависимость).

Заключение

Проведенные исследования показали, что в 2013 г. общий объем СВ, поступающих в зал. Посъета, составил 1184,22 тыс. м³, из них 94 % имеют категорию «без очистки» и «недостаточно очищенные». По экспертным данным, на акваторию зал. Посъета от береговых предприятий поступило около 701 т ЗВ. Наибольшая массовая доля приходится на взвешенные и органические вещества, что составляет 56 % суммарного сброса, при этом удельный показатель поступления ЗВ с СВ в 2013 г. для зал. Посъета составил 0,081 г/м³.

Методом биотестирования установлено, что наибольшее ингибирующее действие на процесс биссусообразования у мидии Грея оказывала морская вода из проб, отобранных в бухте Рейд Паллада. Показано, что превышение ПДК УВ в водах зал. Посъета относительно невелико: концентрация общих углеводородов варьировала от 0,025 до 0,065 мг/л, что является свидетельством относительного экологического благополучия по содержанию УВ в водах зал. Посъета по сравнению с большинством акваторий зал. Петра Великого.

Список литературы

Адрианов А.В., Тарасов В.Г. Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — 512 с.

Айбулатов Н.А. Деятельность России в прибрежной зоне моря и проблемы экологии : моногр. — М.: Наука, 2005. — 364 с.

Ганзей С.С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и северо-востока Китая : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — 231 с.

Григорьева Н.И. Залив Посъета: физико-географическая характеристика, климат, гидрологический режим // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : ДВФУ, 2012. — С. 31–61.

Прибрежно-морское природопользование: теория, индикаторы, региональные особенности : моногр. / И.С. Арзамасцев, П.Я. Бакланов, С.М. Говорушко и др. — Владивосток : Дальнаука, 2010. — 308 с.

Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере : моногр. — М. : РУДН, 2003. — 430 с.

Farrington J.W., Goldberg F.D., Risebrough R.W. et al. U.S. “Mussel Watch” 1976–1978. An overview of the trace metal, DDE, PCB, hydrocarbon and artificial radionuclide data // Environ. Sci. and Techn. — 1983. — Vol. 17. — P. 490–496.

Ikävalko J. Review of oil spill effects on arctic marine ecosystems // MERI–Report Series of the Finnish Institute of Marine Research. — 2005. — № 54. — С. 41–69.

McDowell J. Biological Effects of Contaminants on MarineShellfish and Implications for Monitoring Population Impacts // The Decline of Fisheries Resources in New England. Evaluating the Impact of Overfishing, Contamination, and Habitat Degradation. — 2005. — P. 119–130.

Shigenaka G., Henry C.B. Use of mussels and semipermeable membrane devices to assess bioavailability of residual polynuclear aromatic hydrocarbons three years after the Exxon Valdez oil spill // Exxon Valdez oil spill: fate and effects in Alaskan waters. — Philadelphia : American Society for Testing and Materials, 1993. — P. 239–260.

Widdows J., Bakke T., Bayne B.L. et al. Responses of *Mytilus edulis* on exposure to the water accommodated fraction of North Sea oil // Mar. Biol. — 1982. — Vol. 67. — P. 15–31.

Поступила в редакцию 13.08.14 г.