

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ И ЧИСЛЕННОСТИ НЕФТЕОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ зал. АНИВА

В. О. Каськова, А. В. Полтева, Е. М. Латковская

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

В 2003 г. в соответствии с отраслевой программой мониторинга водных биоресурсов и среды их обитания выполнены работы по комплексной характеристике состояния прибрежной зоны зал. Анива.

Залив Анива является одним из важнейших промысловых водоемов Сахалинской области. В связи со строительством завода по сжижению газа (СПГ) актуальными стали исследования, призванные оценить состояние прибрежных вод в районе строительства завода, в частности по содержанию нефтепродуктов (НП). НП относятся к числу наиболее распространенных в глобальном масштабе и опасных токсических веществ. В водные объекты НП поступают со сточными водами предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической и других отраслей промышленности, при перевозке нефти водным путем, в результате интенсивного судоходства и др. Нефтепродукты представляют собой сложную и непостоянную по составу смесь соединений, основными групповыми компонентами которых являются углеводороды. Поэтому в научной литературе часто термин «нефтепродукты» заменяют термином «нефтяные углеводороды». Немногочисленные сведения о содержании нефтяных углеводородов в зал. Анива встречались в ежегодных обзорах экологического состояния морей СССР, выполненных силами Госкомгидромета, и некоторых статьях, в которых также используются данные Госкомгидромета (Пищальник, 1986; Обзор..., 1990; Геоэкология..., 2001). Единичны и сведения о численности нефтеокисляющей микрофлоры этого района. Углеводородокисляющие микроорганизмы являются постоянно присутствующим компонентом в структуре микробных ценозов морских экосистем. Нефтеокисляющая микрофлора принимает участие в окислении нефти, оказывает минерализующий эффект в зависимости от химической природы нефтяных углеводородов (Салманов, 1999). Численность этой группы микроорганизмов используется для оценки степени загрязнения различных акваторий океана. В чистых акваториях доля данных микроорганизмов не превышает обычно 0,1–1,0% от численности гетеротрофных бактериальных сообществ, тогда как в загрязненных нефтью районах их доля может возрасти до 50–80% (Патин, 1997; Студеникина и др., 2002).

Целью работы является изучение сезонной динамики и распределения нефтепродуктов и нефтеокисляющих микроорганизмов в прибрежных водах зал. Анива (район строительства завода СПГ, пос. Пригородное).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Пробы воды отбирали на глубинах до 30 м в апреле (15–22 апреля), июне (10–18 июня), августе (12–19 августа), октябре (25–27 октября) и ноябре–декабре (25–27 ноября, 2 декабря) 2003 г.

Отбор проб проводили проточными фторопластовыми батометрами. Для определения содержания НП пробы отбирали в бутылки темного стекла, для микробиологических исследований отбор проб вели в поверхностных горизонтах фторопластовыми пробоотборниками со стерильными стеклянными емкостями объемом 1 л, на заданных глубинах – проточными пластиковыми батометрами, стерилизованными 96-градусным спиртом. Из батометров воду отбирали одноразовыми пластиковыми шприцами объемом 20 мл в двукратной повторности. Отобранные пробы хранили до момента исследований в термоконтейнерах со льдом. Схема станций представлена на рисунке 1. Массовую концентрацию НП определяли флуориметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.4.128-98, 1998). Сущность методики состоит в экстракции нефтепродуктов гексаном и измерении интенсивности флуоресценции экстракта. Предел обнаружения НП по методике составляет 0,005 мг/дм³. Анализ проб воды проводился в химико-аналитической лаборатории СахНИРО сотрудниками В. О. Каськовой, Т. Г. Кореневой, И. А. Митракович.

Определение наиболее вероятной численности нефтеокисляющих микроорганизмов проводили согласно методике, описанной в руководстве (Руководство..., 1980).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Статистические параметры содержания НП в прибрежных водах зал. Анива представлены в таблице 1, средние концентрации НП по месяцам – на рисунках 2–6.

Максимальное содержание НП наблюдалось в июне и составляло в среднем 0,018 мг/дм³. Количество НП в этом месяце варьировалось от значений ниже предела обнаружения (н. п. о.) 0,005 до 0,082 мг/дм³ (см. табл. 1). Наибольшая концентрация отмечена у дна на станции 9 (0,082 мг/дм³) и станции 3 (0,055 мг/дм³) (см. рис. 3). Только на этих станциях количество НП превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК), разработанную для рыбохозяйственных водоемов. Норма ПДК составляет 0,050 мг/дм³ (Перечень..., 1999). На станции 9 концентрация НП составила 1,64 ПДК, на станции 3 – 1,10 ПДК.

В августе содержание НП в среднем достигало 0,012 мг/дм³. Диапазон концентраций составил менее 0,005–0,070 мг/дм³. Наибольшее количество НП отмечено у поверхности станции 7 – 1,40 ПДК (см. рис. 4).

В апреле, октябре и ноябре воды исследуемого района характеризовались низким содержанием НП, не превышающим нормы ПДК. Так, среднее содержание НП в апреле составило 0,007 мг/дм³, октябре и ноябре – 0,006 мг/дм³. В основном массовая концентрация нефтепродуктов в поверхностном и придонном горизонтах не превышала предел обнаружения метода (0,005 мг/дм³). Максимальное содержание НП в эти месяцы варьировалось от 0,013 до 0,022 мг/дм³ (см. рис. 2, 5, 6).

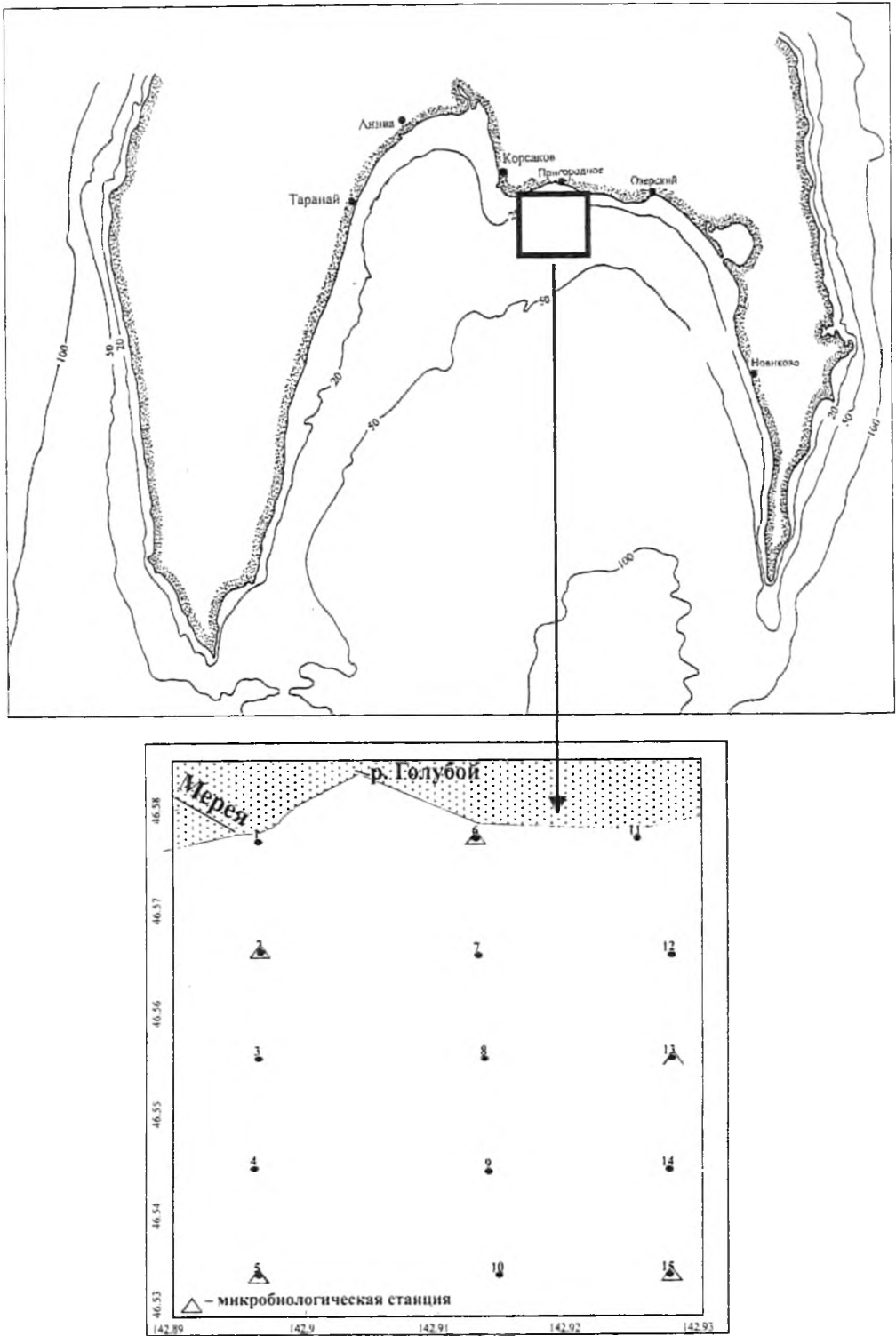


Рис. 1. Схема станций отбора проб в зал. Анива, 2003 г.

**Статистические параметры содержания НП (мг/дм³)
в прибрежных водах зал. Анива, 2003 г.**

Параметр	Апрель	Июнь	Август	Октябрь	Ноябрь
\bar{X}	0,007	0,018	0,012	0,006	0,006
σ	0,004	0,017	0,015	0,003	0,003
min	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
max	0,019	0,082	0,070	0,019	0,022
Мода	0,005	0,005	0,007	0,005	0,005
n	27	27	19	25	27
S ‰*	31,68±1,99	32,13±0,27	31,88±0,62	32,10±0,83	31,82±0,54

* Соленость, ‰.

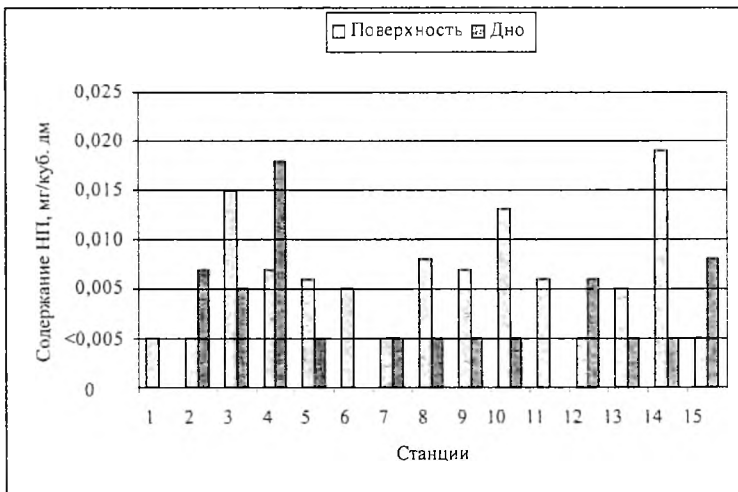


Рис. 2. Содержание НП (мг/дм³), апрель 2003 г.

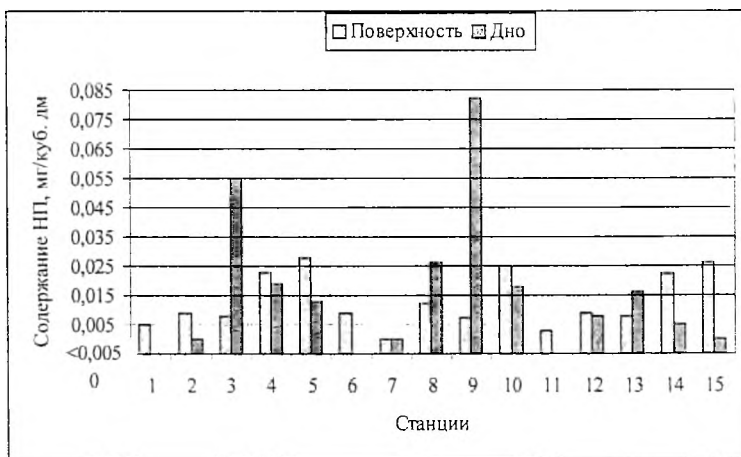


Рис. 3. Содержание НП (мг/дм³), июнь 2003 г.

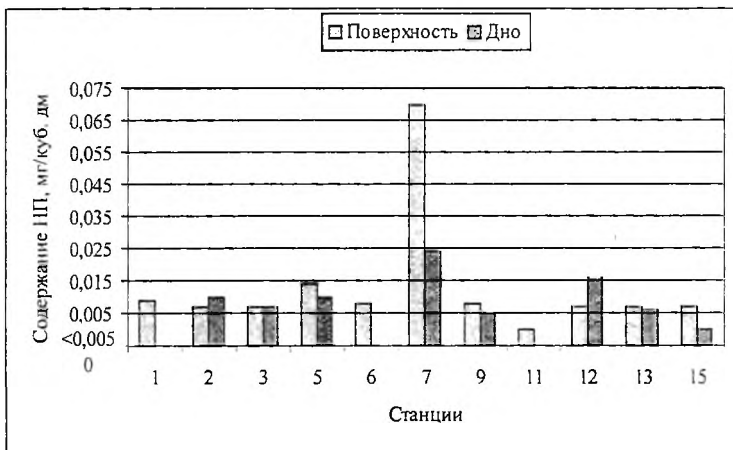


Рис. 4. Содержание НП ($\text{мг}/\text{дм}^3$), август 2003 г.

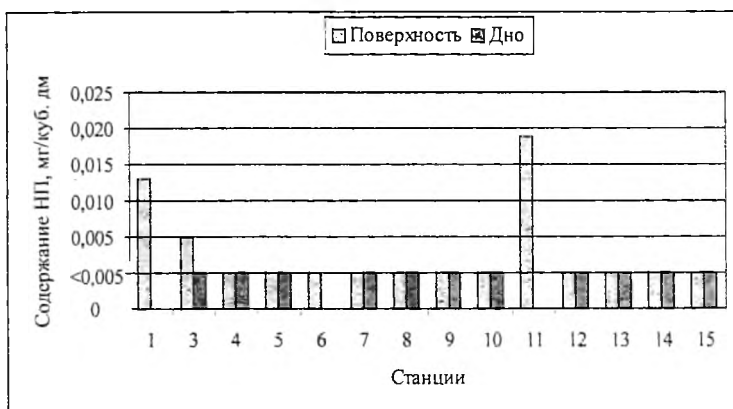


Рис. 5. Содержание НП ($\text{мг}/\text{дм}^3$), октябрь 2003 г.

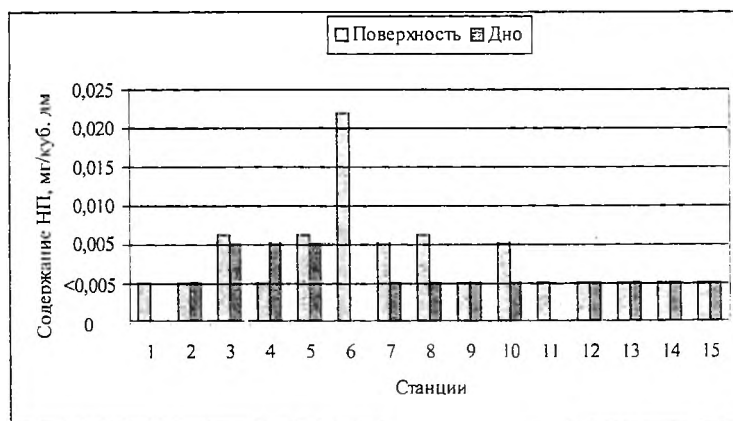


Рис. 6. Содержание НП ($\text{мг}/\text{дм}^3$), ноябрь 2003 г.

Рассматривая распределение среднего содержания НП по горизонтам, следует отметить, что оно характеризовалось довольно равномерным накоплением НП как у поверхности, так и у дна (табл. 2). Исключение составило распределение НП по горизонтам в июне. Так, в придонном горизонте средняя концентрация НП была в 1,6 раза выше, чем в поверхностном.

Таблица 2

Среднее содержание НП (мг/дм³)

Месяц	Поверхность			Дно		
	\bar{X}	σ	n	\bar{X}	σ	n
Апрель	0,008	0,004	15	0,007	0,004	12
Июнь	0,013	0,009	15	0,021	0,024	12
Август	0,014	0,019	11	0,010	0,007	8
Октябрь	0,007	0,004	14	н. п. о.*	–	11
Ноябрь	0,006	0,004	15	н. п. о.*	–	12

* Ниже предела обнаружения (0,005 мг/дм³).

В целом, с апреля по ноябрь концентрации НП изменялись от значений ниже предела обнаружения 0,005 до 0,082 мг/дм³ и в среднем составили 0,010±0,11 мг/дм³, модальным было значение ниже предела обнаружения 0,005 мг/дм³. Во все периоды наблюдался большой разброс значений изучаемого параметра, что говорит о локальности источника поступлений НП и случайном характере загрязнения. По литературным данным, фоновый уровень нефтяных углеводородов открытых вод шельфа Сахалина составляет 0,001–0,015 мг/дм³ (Ткалин, 1993; Патин, 2001). В прибрежных районах этот уровень значительно выше – 0,01–0,1 мг/дм³ (Патин, 2001). Для зал. Анива также характерно увеличение концентраций нефтепродуктов по мере приближения к берегу. Так, если в проливе Лаперуза количество НП в среднем составляло 0,01–0,03 и не превышало ПДК, то в зал. Анива средние концентрации были в пределах 0,04–0,12, а в бухте Лососей – 0,02–0,20 мг/дм³ (за период с 1988 по 1996 г.) (Геоэкология..., 2001). Полученные нами данные соответствуют фоновым характеристикам прибрежных вод и позволяют классифицировать исследуемый район как незагрязненный.

Для выяснения источника НП, в том числе влияния терригенного стока, был проведен корреляционный анализ с гидрохимическими показателями (табл. 3). Значимых корреляционных связей НП с гидрохимическими параметрами выявлено не было, в том числе с маркерами терригенного стока, содержанием взвешенных веществ (ВВ) и кремния (Si). Следовательно, прибрежный сток на данном участке не играет определяющей роли в формировании загрязнения прибрежных вод нефтепродуктами. Об этом говорит и невысокое содержание НП в апреле, когда наблюдался максимальный сток за весь период исследования. Так, если в июне соленость в среднем составила 32,13‰, то в апреле – 31,68‰ (см. табл. 1).

Таким образом, максимальное содержание НП наблюдалось в летние месяцы. В это время в изучаемом районе наблюдалось интенсивное судоходство, связанное с рыбохозяйственной деятельностью и подготовкой к строительству завода СПГ. Деятельность торгового и рыболовецкого флота,

как один из основных источников загрязнения зал. Анива, отмечается и ранее (Геоэкология..., 2001).

Также возможен перенос течением НП от порта Корсаков в исследуемый район. Так как в летние месяцы наиболее развита стратификация, то перемешивание относительно невелико, а направление течения со стороны порта наблюдается достаточно часто (Богдановский и др., 2003; см. статью Шевченко и др. в наст. сб.).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между содержанием нефтепродуктов и химическими параметрами воды (n=121, P=0,95)

Параметр	T	S	pH	O ₂	БПК ₅	Si	N_NH ₄	N_NO ₃	Хлоро-филл	ВВ
Коэффициент корреляции, r	0,09	0,03	-0,02	0,05	-0,01	-0,02	-0,02	-0,10	-0,02	0,10
Уровень значимости, α	0,311	0,770	0,806	0,607	0,935	0,838	0,807	0,272	0,813	0,263

Результаты определения численности нефтеокисляющих микроорганизмов представлены в таблице 4. Наиболее вероятная численность нефтеокисляющих микроорганизмов в августе 2003 г. в районе строительства причала в поверхностном слое воды лежала в пределах 150–2500 кл./мл. Максимальные значения относились к береговым станциям 2 и 6. На глубинах от 10 до 30 м численность этой группы была представлена единичными клетками либо десятками клеток. В нескольких пробах воды (станция 15 – 10 м; станция 5 – 10 м, 20 м) нефтеокисляющая микрофлора отсутствовала. Максимум численности для глубины 10 м зарегистрирован на станции 2, расположенной в береговой зоне. В октябре 2003 г. прослеживалось распределение нефтеокисляющей микрофлоры с максимальными значениями для прибрежных поверхностных вод и уменьшением значений численности с увеличением глубины и удаленности от берега. Максимальным значение численности было также зафиксировано на поверхности станции 2 – 4500 кл./мл.

Интересной особенностью распределения численности этой индикаторной группы микроорганизмов в ноябре было наличие максимумов в придонных слоях. Так, максимальные значения наиболее вероятной численности (НВЧ) нефтеокисляющих микроорганизмов относились к глубинам 20–30 м и составляли соответственно 9500 и 2000 кл./мл. В поверхностных слоях численность нефтеокисляющей микрофлоры не превышала 950 кл./мл.

Как правило, наибольшая численность нефтеокисляющих микроорганизмов регистрируется летом (Квасников, Ключникова, 1981). Высокой численности нефтеокисляющих бактерий (НОБ) в водной толще и на поверхности способствуют более высокие значения температуры воды. Интересным является и тот факт, что в отдельных морях пик численности нефтеокисляющих микроорганизмов в донных отложениях приходится не на летний сезон, когда отмечаются максимальные значения численности этой группы для воды, а осенью. Такая особенность была отмечена в Азовском море (Соловейкина, Толоконникова, 2000). Возможно, летний минимум численности НОБ в донных отложениях (ДО) обусловлен восстановительными условиями, которые скла-

НВЧ нефтеокисляющих микроорганизмов воды в заливе Анива
в августе, октябре, ноябре 2003 г., кл./мл

Станции												
2	6	13	15	5								
Глубина, м												
0	10	0	10	15	0	10	20	30	0	10	20	30
Август												
$2,5 \times 10^3$	$4,5 \times 10^2$	$2,5 \times 10^3$	$1,5 \times 10^2$	$4,5 \times 10$	$2,5 \times 10^3$	$9,5 \times 10^2$	0	$0,7 \times 10$	$0,4 \times 10$	$2,5 \times 10^2$	0	$0,9 \times 10$
Октябрь												
$4,5 \times 10^3$	—*	$2,5 \times 10^3$	$2,5 \times 10$	$4,5 \times 10^2$	$9,5 \times 10$	$9,5 \times 10$	$1,5 \times 10$	$2,5 \times 10$	$2,5 \times 10$	$2,5 \times 10^2$	$9,5 \times 10$	$4,5 \times 10$
Ноябрь												
$4,5 \times 10^2$	—	$9,5 \times 10$	$2,5 \times 10^2$	—	$9,5 \times 10^2$	$4,5 \times 10^2$	$9,5 \times 10^2$	$1,5 \times 10$	$1,5 \times 10$	$9,5 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	

*Проба не отобрана.

дываются в ДО моря и угнетающе действуют на нефтеокисляющую микрофлору. В нашем случае высокая численность нефтеокисляющих бактерий в придонных слоях указывала, скорее, на накопление трудноокисляемых фракций нефтепродуктов в грунте, не успевших подвергнуться биохимическому окислению в теплые сезоны.

В литературе приводятся следующие данные по численности нефтеокисляющей флоры морей: от 1 до 10 кл./мл в незагрязненных открытых акваториях и 10^3 – 10^5 кл./мл в прибрежных водах. В загрязненных нефтепродуктами районах их количество увеличивается до 1000 кл./мл в открытой части морей и до 1 млрд. кл./мл – в сильно загрязненных участках побережья и у нефтяных скважин. В более высокой концентрации они обнаружены в донных отложениях морей: 1–1000 кл./г в незагрязненных осадках, 10^3 – 10^4 кл./г вблизи портов и до 10^8 кл./г в загрязненных грунтах портовых акваторий (Миронов, 1971; Цыбань, 1973; Новожилова и др., 1982; Платпира, 1985). В составе сапрофитной микрофлоры нефтеокисляющие бактерии составляют до 7% в чистых водах, 50–80% – в загрязненных и в пять–шесть раз превышают количество сапрофитных бактерий в сильно загрязненных районах (Мишустина и др., 1985; Студеникина и др., 2002). Полученные нами данные численности нефтеокисляющих бактерий не превышают нижней границы значений, характерных для загрязненных акваторий. Доля этой группы в составе сапрофитной микрофлоры не превышала 7%. Это свидетельствует в пользу того, что исследуемый район не подвержен хроническому загрязнению нефтепродуктами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследований, проведенных в заливе Анива в апреле–ноябре 2003 г., было выявлено, что максимум концентраций НП в воде приходится на июнь, минимум – на октябрь и ноябрь. Прибрежный сток не имеет определяющего влияния на концентрации НП в районе работ. В целом, за весь период работ содержание НП было ниже ПДК и составило в среднем 0,010 мг/дм³, максимальное превышение ПДК было отмечено в июне в придонном горизонте станции 9 – 0,082 мг/дм³. Представленные значения невелики, что говорит о незагрязненности района работ и дает возможность принять среднее значение содержания НП за весь период исследования как фоновую концентрацию для данного района зал. Анива.

Полученные результаты по численности нефтеокисляющей микрофлоры свидетельствуют о присутствии в прибрежной зоне нефтепродуктов. Наиболее вероятная численность нефтеокисляющих микроорганизмов в районе исследования составляла десятки–тысячи клеток в одном миллилитре. Резких колебаний численности по сезонам не наблюдалось. Максимальные значения численности, составлявшие тысячи клеток в одном миллилитре, единично отмечались как в августе, так и в ноябре, причем как в поверхностном, так и в придонном слое.

Численные показатели количества нефтеокисляющей микрофлоры и содержания нефтепродуктов характеризуют исследованную акваторию как незагрязненную или не подвергнутую хроническому загрязнению.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят сотрудников отдела прикладной экологии и лаборатории болезней рыб СахНИРО, принимавших активное участие в отборе проб и обработке материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Результаты моделирования потенциальных разливов нефти в заливе Анива и проливе Лаперуза / **А. А. Богдановский, И. Е. Кочерыгин, И.А. Аршинов** и др. // Гидрометеорология и экология Дальнего Востока : Тематич. вып. ДВНИГМИ. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – С. 118–125.
2. **Геоэкология шельфа и берегов морей России** / Под. ред. Н. А. Айбулатова. – М. : Изд. дом «Ноосфера», 2001. – 427 с.
3. **Квасников, Е. И.** Микроорганизмы – деструкторы нефти в водных бассейнах / **Е. И. Квасников, Т. М. Ключникова**. – Киев : Наукова думка, 1981. – 132 с.
4. **Миронов, О. Г.** Нефтеокисляющие микроорганизмы в море / О. Г. Миронов. – Киев : Наукова думка, 1971. – 233 с.
5. **Мишустина, И. Е.** Морская микробиология / **И. Е. Мишустина, И. К. Щеглова, И. Н. Мицкевич**. – Владивосток : ДВГУ, 1985. – 184 с.
6. **Углевородородокисляющие микроорганизмы в морских водоемах** / **М. И. Новожилова, Л. Е. Попова, Ф. С. Березина** и др. // Океанология. – 1982. – Т. 22, вып. 2. – С. 281–291.
7. **Обзор экологического состояния морей СССР и отдельных районов Мирового океана за 1989 год** / Под ред. Ю. А. Изразля. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – 174 с.
8. **Патин, С. А.** Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа / **С. А. Патин**. – М. : Изд-во ВНИРО, 1997. – 350 с.
9. **Патин, С. А.** Нефть и экология континентального шельфа / **С. А. Патин**. – М. : Изд-во ВНИРО, 2001. – 247 с.

10. **Перечень** рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение / Под рук. М. Л. Кашинцева. – М. : Изд-во ВНИРО, 1999. – 304 с.
11. **Пищальник, В. М.** Гидрохимия и загрязнение морских вод шельфа о. Сахалин, прогностические оценки и рекомендации по предотвращению загрязнения : Дис. ... канд. геогр. наук / В. М. Пищальник; Гос. океанограф. ин-т. – М., 1986. – 176 с.
12. **Платпира, В. П.** Микрофлора и трансформация нефтяных углеводородов в морской воде / В. П. Платпира. – Рига : Зинатне, 1985. – 160 с.
13. **ПНД Ф 14.1:2:4.128–98.** Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». – М. : Гос. ком. РФ по охране окружающей среды, 1998. – 16 с.
14. **Руководство** по методам биологического анализа морской воды и донных отложений / Под ред. А. В. Цыбань. – Л. : Гидрометеоздат, 1980. – 192 с.
15. **Салманов, М. А.** Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря / М. А. Салманов. – Баку, 1999. – 189 с.
16. Соловейкина, Л. С. О роли процессов самоочищения морских акваторий в районах разведочного бурения газовых скважин в Азовском бассейне / **Л. С. Соловейкина, Л. И. Толоконникова** // Охрана биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегаз. месторождений на шельфе и внутрен. вод. объектах РФ. – М., 2000. – С. 233–239.
17. Студеникина, Е. И. Микробиологические процессы в Азовском море в условиях антропогенного воздействия / **Е. И. Студеникина, Л. И. Толоконникова, С. П. Воловик.** – М. : ФГУП «Нацрыбресурсы», 2002. – 168 с.
18. **Цыбань, А. В.** Микробиологические исследования в северо-восточной части Тихого океана / А. В. Цыбань // Тр. Ин-та океанологии. – 1973. – Вып. 91. – С. 52–56.
19. **Tkalin, A. V.** Background pollution characteristics of the N. E. Sakhalin Island Shelf / A. V. Tkalin // Mar. Pollut. Bull. – 1993. – Vol. 26, No. 12. – P. 704–706.

Каськова, В. О. Сезонная динамика концентрации нефтепродуктов и численности нефтеокисляющих микроорганизмов прибрежной зоны зал. Анива / В. О. Каськова, А. В. Полтева, Е. М. Латковская // 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, 2005. – Т. 7. – С. 375–384.

В ходе исследований, проведенных в заливе Анива в апреле–ноябре 2003 г., было выявлено, что максимум концентраций нефтепродуктов (НП) в воде приходится на июнь, минимум – на октябрь и ноябрь. Прибрежный сток не имеет определяющего влияния на концентрации НП в районе работ. В целом, за весь период работ содержание НП было ниже предельно допустимой концентрации и составило в среднем $0,010 \text{ мг/дм}^3$. Наиболее вероятная численность нефтеокисляющих микроорганизмов в районе исследования составляла десятки–тысячи клеток в одном миллилитре. Численные показатели количества нефтеокисляющей микрофлоры и содержания нефтепродуктов характеризуют исследованную акваторию как незагрязненную или не подвергнутую хроническому загрязнению.

Табл. – 4, ил. – 6, библиогр. – 19.

Kas'kova, V. O. Seasonal dynamics of petroleum products concentration and petroleum-oxidizing microorganisms abundance in the coastal zone of Aniva Bay / **V. O. Kas'kova, A. V. Polteva, E. M. Latkovskaya** // 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, 2005. – Vol. 7. – P. 375–384.

During the surveys conducted in Aniva Bay in April–November 2003, the maximum concentration of petroleum products (PP) in water was revealed to occur in June, and minimum in October and November. The coastal runoff has not any determining influence on PP concentrations in the investigated region. On the whole, a content of PP was lower than the maximum admissible concentration (averaged 0,010 mg/dm³) during the survey period. The most likely abundance of petroleum-oxidizing microorganisms in the study region was tens-thousands cells in one milliliter. Quantitative indices of the petroleum-oxidizing microflora and PP content characterize the area studied as unpolluted or not undergone a chronic pollution.

Tabl. – 4, fig. – 6, ref. – 19.