

УДК 504.454 : 574.52 : 574.583 : 579.68

Л.А. ГАРЕТОВА, Н.К. ФИШЕР

Исследование состава донных отложений озера Мучке (бассейн Татарского пролива)

Проведено исследование гранулометрического состава донных осадков (ДО), содержания в них $C_{орг}$, алифатических и летучих ароматических углеводородов (УВ), фитопигментов, численности бактериобентоса эстуария малой р. Мучке бассейна Татарского пролива. Распределение $C_{орг}$, УВ, фитопигментов, бактериобентоса в осадках обусловлено гранулометрическим составом ДО. Установлено, что исследованные компоненты тяготеют к алевритовой фракции. При небольшом колебании значений $C_{орг}$ (2,6–3,7 %) и УВ (1,25–1,42 мг/г) в однотипных (алеурице-псаммитовых) осадках доля УВ в составе $C_{орг}$ изменялась от 3,38 до 16,25 %. Высокие концентрации летучих ароматических углеводородов (до 141 мг/кг) в осадках озера свидетельствуют о вторичном загрязнении акватории ДО.

Ключевые слова: малые эстуарии, донные осадки, органическое вещество, углеводороды, фитопигменты, бактериобентос.

Composition of bottom sediments of the Lake Muchke (basin of the Tatar Strait). L.A. GARETOVA, N.K. FISHER (Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk).

Granulometric composition, C_{org} , aliphatic and volatile aromatic hydrocarbons (HC), phytopigments, and bacteriobenthos of bottom sediments (BS) of the Lake Muchke (estuary of the small River Muchke of the Tatar Strait basin) were studied. Distribution of C_{org} , HC, phytopigments, bacteriobenthos in the sediments is caused by granulometric composition of BS. It was determined that the investigated components tend towards silty fraction. At a close content of C_{org} (2.6–3.7 %) and HC (1.25–1.42 mg/g) in the same type sediments (aleuritic-psammitic), the fraction of hydrocarbons in the C_{org} composition varied from 3.38 to 16.25 %. High concentrations of volatile aromatic HC (up to 141 mg/kg) in the sediments of the lake indicates that the bottom sediments contribute to secondary pollution of the water area.

Key words: small estuaries, bottom sediments, organic matter, hydrocarbons, phytopigments, bacteriobenthos.

Введение

Донные осадки (ДО) водоемов являются конечным этапом миграции загрязняющих веществ, поступающих с прилегающей суши и из атмосферы, и могут служить интегральным показателем загрязнения водных объектов веществами различной природы. Содержание загрязняющих компонентов в ДО зависит от многих факторов, к которым относятся гидрологический режим акватории, геоморфологические особенности берегов и прилегающих территорий, наличие и интенсивность поверхностного стока, гранулометрический состав осадков, интенсивность продукционных и деструкционных процессов. ДО – консервативная система, в которой биохимические процессы самоочищения происходят очень медленно, поэтому концентрации загрязняющих веществ в них могут изменяться во времени в незначительной степени. Основную роль

ГАРЕТОВА Людмила Александровна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, *ФИШЕР Наталья Константиновна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск). *E-mail: fisher@ivep.as.khb.ru

в продукционно-деструкционных процессах в ДО, особенно в их верхних слоях, играет сообщество перифитонных (донных) организмов, состоящее из одноклеточных водорослей (микрофитобентос), бактерий и других организмов.

На побережье Татарского пролива широко распространены озера лагунного типа, представляющие собой эстуарии малых рек, стекающих с восточных склонов северного Сихотэ-Алиня. Здесь осуществляется взаимодействие морской среды и наземных ландшафтов. Интерес к этим компактным водным объектам обусловлен их большей, по сравнению с крупными эстуарными системами, уязвимостью от внешних факторов: негативные воздействия на малые эстуарии могут влиять на всю систему, а не на ее отдельные компоненты, тем самым препятствуя восстановительным процессам и/или затягивая их [21]. Конечным итогом деградации малых эстуариев является утрата функции «маргинальных фильтров» и превращение их ДО в дополнительный источник загрязнения морской экосистемы.

В последнее время антропогенный пресс на малые эстуарные системы Татарского пролива значительно увеличился в связи с интенсивным строительством угольных и нефтеналивных терминалов. Сочетание антропогенной деятельности и особых гидролого-гидрохимических условий в устьях малых приливных рек способствует развитию таких негативных процессов, как интенсивное осадконакопление, нарушение естественного водообмена, увеличение поверхностного стока, что в конечном итоге отражается на жизнедеятельности всего гидробионтного сообщества.

Исследования экологического состояния устьевых участков рек Охотского и Японского морей Тихого океана показали, что они испытывают уровень антропогенной нагрузки от малой до высокой и даже экстремальной [5, 13]. При этом эстуарии малых рек Татарского пролива остаются малоизученными [3, 4].

Мы используем эстуарии малых рек дальневосточного морского побережья как объекты для изучения потоков органического вещества в зоне смешения морских и речных вод (маргинальные фильтры). Целью настоящего исследования явилось выяснение основных закономерностей содержания, распределения и состава абиотических и биотических компонентов донных отложений оз. Мучке (эстуария малой р. Мучке бассейна Татарского пролива) для оценки его экологического состояния.

Объекты и методы

Озеро Мучке расположено вблизи пос. Ванино (Хабаровский край). Оно имеет вытянутую в восточно-западном направлении форму, площадь 0,59 км² (рис. 1). Котловина озера с максимальной глубиной 4 м соединена с одноименной морской бухтой стоковой протокой длиной 1,1 км. Река Мучке впадает в западную, кутовую часть озера (см. рис. 1, врезка). Через стоковую протоку проложен железнодорожный мост, на южном берегу озера расположено нефтехранилище, а в бухте Мучке ведется строительство угольного терминала.

Полевые работы проводили в первой декаде августа 2016 г. при совпадении речной межени и высокого уровня прилива. Пробы ДО отбирали из слоя 0–5 см в фазу прилива. Одновременно на 5 станциях отбора проб измеряли температуру придонной воды, соленость, рН при помощи кондуктометра WQC-24 (DKK-TOA Corporation, Япония).

Содержание $C_{орг}$ в слое осадков 0–5 см оценивали методом мокрого сжигания с фотометрическим окончанием в воздушно-сухой навеске. Определение массовой доли углеродов (УВ) в ДО выполняли по методике ПНД Ф 16.1:2.2.22–98 [18]. УВ выделяли экстракцией четыреххлористым углеродом, фракцию УВ очищали от сопутствующих полярных соединений на колонке с оксидом алюминия 2-й степени активности по Брокману. Измерения проводили на концентратометре КН-2 (Сибэкоприбор, Россия). Анализ

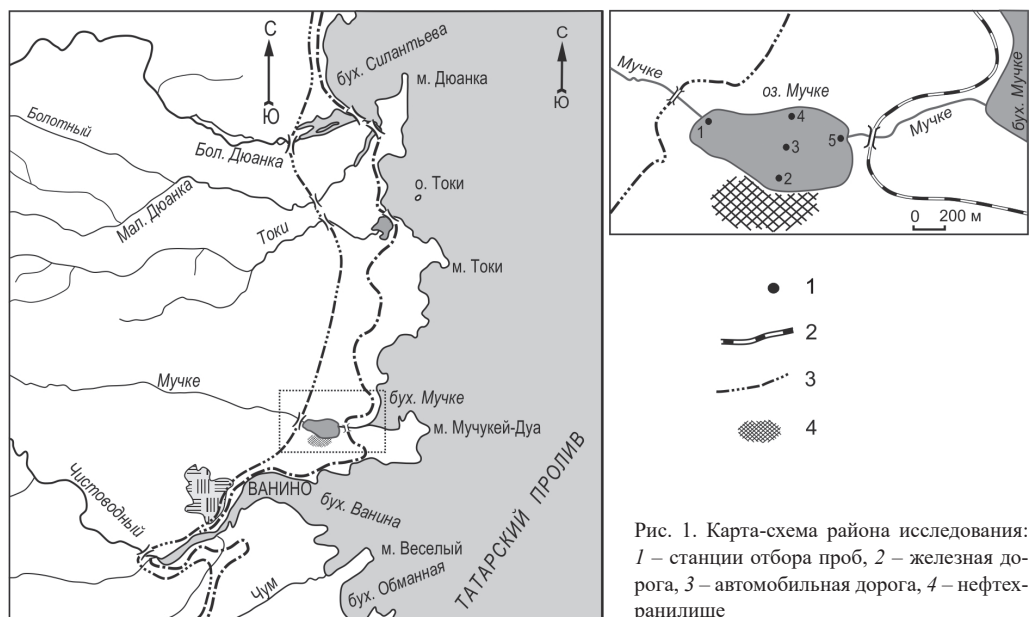


Рис. 1. Карта-схема района исследования: 1 – станции отбора проб, 2 – железная дорога, 3 – автомобильная дорога, 4 – нефтехранилище

летучих ароматических углеводородов (ЛАУ) в ДО осуществляли на хроматографе Кристалл-5000.1 (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия) [16, 17].

Фотосинтетические пигменты определяли согласно стандарту (ГОСТ 17.1.4.02-90) в вариации применительно к пигментам в донных отложениях [19]. Концентрацию пигментов – спектрофотометрическим методом на спектрофотометре UV-1650 PC (Shimadzu, Япония). Уровень развития синезеленых водорослей измеряли, используя пигментный индекс (ПИ) E450/E480 [20].

Микробиологические посеы из ДО проводили в полевой лаборатории не позднее 1 ч после отбора проб согласно общепринятым в водной микробиологии методам [8]. Определяли численность относящихся к разным эколого-трофическим группам бактерий – гетеротрофных (ГБ), сапротрофных (СБ) и нефтеокисляющих (НОБ).

Результаты и их обсуждение

Удаленность оз. Мучке от взморья на 1,1 км влияет на интенсивность водообмена и проявляется в величине градиента солености, температуры и pH воды (табл. 1). Также эти показатели зависят от фазы гидрологического режима реки и моря. На момент исследования соленость придонной воды в оз. Мучке не выходила за пределы олигогалинной зоны и по продольному профилю варьировала от 0 до 6,33 епс (единиц практической

Таблица 1

Гидролого-гидрохимическая характеристика оз. Мучке*

Станция	Локация	Расстояние от моря, км	Глубина, м	Придонная вода			ДО	
				S, епс	T, °C	pH	C _{орг} , %	УВ, мг/г
1	Устье р. Мучке	2,1	0,45	0,26	17,1	7,15	2,7	1,42
2	Южный берег	1,5	0,5	5,24	22,1	8,41	3,7	1,25
3	Середина	1,5	4,5	6,33	21,1	8,37	8,8	2,00
4	Северный берег	1,5	1,0	6,32	21,3	8,33	2,6	1,28
5	Вход в протоку	1,1	0,3	6,33	21,8	8,33	0,8	0,13

*Были сделаны единственные измерения.

солёности). Влияние холодных речных вод прослеживается только вблизи устья (ст. 1). На остальных станциях придонный слой воды хорошо прогревается вследствие мелководности озера.

Активная реакция среды характеризует кислотно-щелочное равновесие среды осадкообразования и является важным фактором, влияющим на характер микробиологических процессов. Значение рН морской воды обычно находится в пределах 7,5–8,5 (слабощелочная реакция), рН придонной воды оз. Мучке варьирует от 7,15 в пресноводной зоне до 8,41 в олигогалинной. Как правило, значение рН в воде мелководий в результате деятельности микробного населения в анаэробных условиях ДО снижается.

Гранулометрический состав осадков

Литологические типы осадков были выделены на основе трехкомпонентной классификации «псаммит Ps – алеврит Al – пелит Pl» [9, 10]. Доминирующей фракцией в осадках на большинстве станций озера является алеврит, пелитовая фракция слабо выражена и не превышала 3,0 % (табл. 2).

Таблица 2

Гранулометрический состав донных отложений оз. Мучке

Станция	Тип донных отложений	Состав донных отложений, %		
		Pl (<0,01 мм)	Al (0,1–0,01 мм)	Ps (>0,1 мм)
1	Алеврит псаммитовый	0,17	53,90	45,93
2	– « –	3,01	71,40	25,59
4	– « –	0,18	52,41	47,41
5	Псаммит	0	5,45	94,55

Примечание. Pl – пелит, Al – алеврит, Ps – псаммит.

Для ст. 3 измерения не проводились (см. раздел «Органическое вещество и УВ»).

О степени гранулометрической дифференциации в ДО эстуария р. Мучке и закономерностях процессов седиментации, связанных с морфоструктурными особенностями района, можно судить по кумулятивным кривым и графикам распределения фракционного состава (рис. 2).

Отложения оз. Мучке характеризовались крутыми кумулятивными кривыми без явных изгибов и ступенек, мономодальным распределением частиц в исследуемом диапазоне. В то же время у осадков, отобранных на разных участках эстуария р. Мучке, есть свои особенности. Так, в песках ст. 5 максимум (72,67 %) приходился на среднепсаммитовую фракцию с размером частиц 250 мкм. В осадках ст. 4 распределение мономодальное, с несимметричным максимумом (45,75 %) в среднепсаммитовой области и содержанием

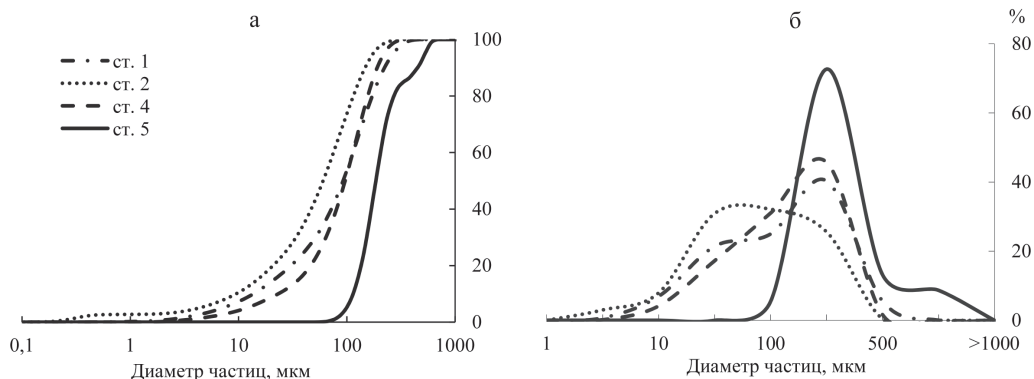


Рис. 2. Распределение частиц по размерам на различных участках оз. Мучке: а – степень сортированности материала (кумулятивные кривые), б – модальность

крупноалевритовой фракции 100 мкм в количестве 31,03 %. Сходное распределение отмечалось в устье реки (ст. 1), при максимуме в среднепсаммитовой области 40,36 % и увеличении крупной и средней алевритовых фракций до 46,39 %. Существенно от остальных образцов отличались ДО ст. 2 в южнобережной части озера. Здесь нет четко выраженного максимума, а образуется пологий «горб», охватывающий алеврито-псаммитовую область с содержанием соответствующих фракций от 30,92 до 25,59 %. В целом для осадков оз. Мучке характерна хорошая сортированность, за исключением участков, подверженных влиянию береговой абразии.

Основными источниками донных отложений оз. Мучке, очевидно, являются взвешенные речные, а также образующиеся в результате абразии берегов наносы. Влияние морских приливов подтверждается наносами в виде псаммитов, особенно на нижнем участке эстуария (ст. 5) (1,1 км от взморья), а также соленостью придонной воды, которая на данном участке составляет 6,33 епс.

Органическое вещество и УВ

Максимальное содержание $C_{\text{орг}} = 8,8\%$ выявлено в осадках середины оз. Мучке (ст. 3) (табл. 1), представляющих собой черную массу с запахом сероводорода и нефтепродуктов. Вероятно, поверхностный слой ДО здесь сильно загрязнен тяжелыми фракциями мазута, который попал в оз. Мучке еще в 2005 г. с территории нефтехранилища в результате аварийного сброса. Вследствие этого оказалось невозможным провести аппаратное исследование гранулометрического состава данной пробы грунта. Кроме этого, высокое содержание экстрагируемых ацетоном битумоидов исказило данные по содержанию в ДО фитопигментов, поэтому для данной станции эти результаты не приводятся. На остальных станциях оз. Мучке содержание $C_{\text{орг}}$ в зависимости от типа грунта варьировало от 0,8 до 3,7 % и в среднем составляло 2,45 %.

Содержание УВ в ДО оз. Мучке варьировало от 0,13 до 1,47 мг/г, что соответствует диапазону концентраций биогенных УВ в сапропелях, иловых гязях, которые могут меняться от 0,01 до 1–2 мг/г [14], за исключением ДО ст. 3, где высокое (2,0 мг/г) содержание УВ обусловлено вышеуказанными причинами. Фоновые концентрации УВ обычно не превышают 10 мкг/г в песчанистых и до 100 мкг/г в илистых осадках [2, 22]. При этом их доля от $C_{\text{орг}}$ обычно составляет $\leq 1\%$ [12]. Доля УВ в общем содержании $C_{\text{орг}}$ в осадках оз. Мучке варьировала от 3,4 до 27,7 % (в среднем 11,5 %), что указывает на поступление нефтяного загрязнения, не связанного с фоновым биогенным источником [11]. Максимальная доля УВ в составе ОВ (27,7 %) выявлена в осадках центральной части (ст. 3), где УВ, вероятнее всего, представлены продуктами микробиологической трансформации тяжелых фракций нефтепродуктов, которые при диффузии из осадков длительное время остаются источниками вторичного загрязнения водной среды.

Суммарное содержание ЛАУ в осадках озера варьировало от 1,38 мг/кг в песках ст. 5 до 141,1 мг/кг в осадках участка озера, примыкающего к территории нефтехранилища (ст. 2). В осадках данной станции содержание бензола было выше в 44 раза, толуола – в 10, этилбензола – в 1,5, *n*-ксилола – в 17, *m*-ксилола в – 29 раз по сравнению с приустьевым участком (ст. 1) (табл. 3). Источником поступления УВ в озеро, вероятнее всего, является ручей, дренирующий территорию нефтехранилища. В осадках центральной части озера (ст. 3), где были выявлены последствия сброса мазута, концентрации обнаруженных бензола, толуола, *n*- и *m*-ксилолов были на порядок и более ниже, чем на ст. 2, что, вероятно, является результатом длительной микробиологической деструкции высокомолекулярных фракций нефтепродуктов и их физико-химической трансформации. В осадках, подверженных влиянию речного стока (ст. 1), содержание ряда индивидуальных ароматических соединений было значительно (в 2 раза и более) выше, чем на замыкающей станции озера (ст. 5), что обусловлено как различием в гранулометрическом составе осадков, так и активностью гидродинамического режима данного участка.

Таблица 3

Концентрация углеводов в донных отложениях оз. Мучке, мг/кг

Станция	Бензол	Толуол	Этилбензол	<i>n</i> -Ксилол	<i>m</i> -Ксилол	<i>o</i> -Ксилол	Стирол
1	0,4	2,67	0,53	0,67	0,67	2,0	0,4
2	17,73	32,18	0,8	11,47	16,67	-	0,27
3	1,26	1,26	-	1,89	1,26	-	-
4	-	0,27	-	0,13	0,13	0,53	0,27
5	0,27	0,13	0,27	0,27	0,13	0,40	0,27

Примечание. Прочерк – вещество не обнаружено.

Фитопигменты

Фотосинтетические пигменты в ДО являются маркерами органического вещества, синтезированного фитопланктоном, фитобентосом, высшей водной растительностью, а также пурпурными и зелеными бактериями. Их содержание в воде характеризует продуктивность водоемов. При оценке пигментного фонда учитывали, что источниками пигментов в ДО эстуариев являются не только микрофитобентосные сообщества, но и пигменты морской и наземной растительности, которые способны накапливаться в ДО и длительное время сохраняться в восстановительных условиях донных отложений, богатых органическим веществом.

Наиболее важным в реакциях фотосинтеза является хлорофилл «а» (хл. «а»). Его концентрация тесно связана с биомассой фитобентоса и зависит от комплекса факторов. В оз. Мучке концентрация хл. «а» варьировала от 15,13 до 82,14 мг/г (в среднем 47,97 мг/г) (табл. 4). Максимальная концентрация хл. «а» и максимальное его процентное содержание от суммы хлорофиллов (84 %) были выявлены в осадках ст. 4, что, вероятно всего, обусловлено не только развитием фитобентоса, но и вкладом травы zostеры, обильно произрастающей на данном участке озера. Содержание хл. «а» в песках ст. 5 было в 3,2 раза ниже, чем его среднее содержание в осадках, и в 16 раз ниже, чем в ДО на ст. 4. Доля хл. «а» в составе хлорофиллов была несколько ниже, чем на остальных станциях, и составляла 70,8 %. Здесь же выявлено значительное преобладание каротиноидов над хл. «а» ($C_{\text{кар.}}/C_{\text{хл. «а»}} = 4$), что выше условного порога (< 2), характеризующего активно функционирующие сообщества микроводорослей [1, 20]. Кроме этого, не исключен вклад каротиноидов морских макрофитов, привносимых в ДО мористой части озера из бухты. Известно, что в эстуариях зачастую максимальную, по сравнению с другими группами автотрофов (фитопланктон, микрофитобентос, эпифитон), долю первичной продукции (до 90 % и более) формируют макрофиты. В эстуариях Приморья только за счет макрофитов (без учета других групп первичных продуцентов) обеспечивается весьма высокий (5–196 г С/м²) уровень первичного продуцирования [7].

Таблица 4

Содержание фитопигментов в осадках оз. Мучке, мг/г

Станция	Хл. «а»	Хл. «б»	Хл. «с»	Кар.	$C_{\text{кар.}}/C_{\text{хл. «а»}}$	ПИ
1	33,29	8,79	2,71	45,41	1,36	3,62
2	61,32	9,19	7,28	55,87	0,91	2,82
4	82,14	9,36	6,44	51,72	0,63	2,31
5	15,13	6,23	0	20,51	4,0	3,60

Примечание. Хл. – хлорофилл, кар. – каротиноиды, С – концентрация, ПИ – пигментный индекс E450/E480.

Соотношения между различными пигментами позволяют судить о физиологическом состоянии и преобладании той или иной группы в сообществе микроводорослей. Так, основную массу морских микроводорослей составляют диатомовые и перидиниевые, которые содержат хлорофиллы «а» и «с». В осадках оз. Мучке значительный вклад

в формировании пигментного фонда вносили синезеленые водоросли, о чем свидетельствуют повышенные (>1) величины ПИ [19].

Распределение $C_{орг}$, УВ и суммы пигментов зависело от гранулометрического состава ДО и было приурочено к алевритовой фракции (рис. 3). Более низкое содержание $C_{орг}$ и пигментов в приустьевой части озера (ст. 1), вероятно, обусловлено условиями проточности и вымыванием данных компонентов из осадков. Другой причиной низкого уровня УВ в осадках приустьевой зоны (ст. 1) может являться низкий температурный режим, замедляющий процессы фотосинтеза. По сравнению с другими станциями озера температура на ст. 1 была в среднем ниже на 5°C .

Наличие общих черт в распределении $C_{орг}$ и пигментов по площади дна озера вызвано как процессами дифференциации гранулометрического состава ДО, так и тяготением максимальных концентраций к тонкой фракции осадков.

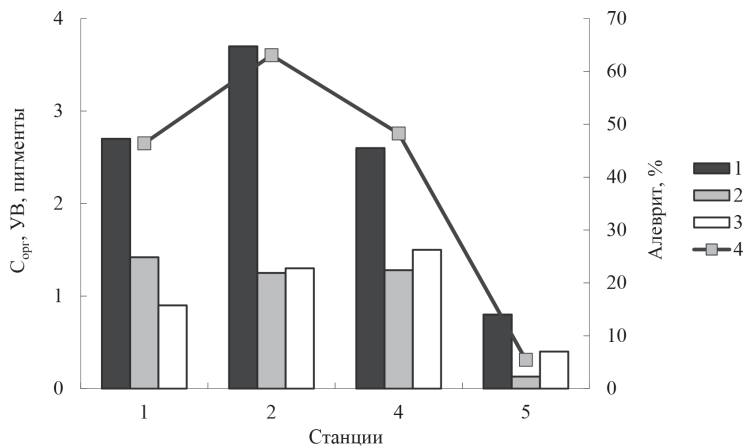


Рис. 3. Содержание в ДО оз. Мучке: 1 – $C_{орг}$, %; 2 – УВ, мг/г; 3 – сумма пигментов, мг/г $\times 10$; 4 – алевритовая фракция, %

Бактериобентос

Численность аэробных гетеротрофных бактерий (ГБ) по станциям поперечного профиля варьировала в осадках в пределах двух порядков – от 90 тыс. до 4060 тыс. КОЕ/г (рис. 4). Минимальная численность данной группы бактерий выявлена в центральной части озера, что, вероятно, обусловлено преобладанием анаэробных условий в осадках, загрязненных тяжелыми фракциями нефтепродуктов. Численность СБ, участвующих на начальных стадиях разложения органического вещества, варьировала в меньшей степени, она составляла 37–72 тыс. КОЕ/г, что обусловлено тем, что высокую долю в группе сапрофитов составляют спорообразующие бактерии, которые активизируются в присутствии большого количества свежего ОВ (копиотрофы). Отношение численностей ГБ и СБ является показателем степени трансформации органического вещества. В прибрежной зоне (ст. 2 и 4) ведущая роль в сообществе принадлежит ГБ, усваивающим умеренные количества легкодоступного органического вещества, т.е. здесь органическое вещество в основном находится на поздних этапах деструкции ($\text{ГБ}/\text{СБ} = 40,4\text{--}68,8$). В бактериобентосном сообществе центральной части оз. Мучке (ст. 3) существенно возрастала роль копиотрофов ($\text{ГБ}/\text{СБ} = 2,4$).

Нефтеокисляющие бактерии являются показателем адаптации сообщества к углеводородам нефти. Известно, что микробиологическая деструкция углеводородов осуществляется только в аэробных условиях. В осадках центральной части озера, вероятно, вследствие микроаэрофильных условий деятельность НОБ носит ограниченный характер, что отражается в среднем на порядок меньшей их численности, чем на мелководных прибрежных участках. Доля НОБ в сообществе ГБ загрязненных нефтепродуктами осадков ст. 3

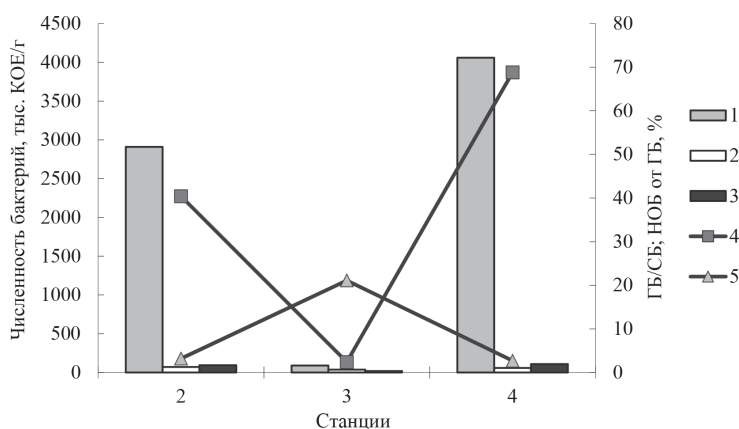


Рис. 4. Состав микробных сообществ ДО поперечного профиля оз. Мучке: 1 – гетеротрофные (ГБ), 2 – сапротрофные (СБ), 3 – нефтеокисляющие (НОБ) бактерии, 4 – индекс трофии (ГБ/СБ, разы), 5 – доля нефтеокисляющих бактерий в численности гетеротрофных (НОБ от ГБ, %)

составляла 21,1 %, что значительно выше условной границы (10 %), характеризующей способность сообщества к утилизации УВ [15]. Определенное нами содержание нефтепродуктов в осадках ст. 3 в настоящее время составляет 2 мг/г, что в 20 раз выше предельной концентрации нефти, установленной для илистых отложений (около 0,1 мг/г), при которой микробное сообщество еще сохраняет природную структуру и функциональную активность и справляется с поступающими загрязнениями [6].

В условиях хронического загрязнения нефтепродуктами бактериобентосное сообщество центральной части оз. Мучке находится в угнетенном состоянии, которое характеризуется снижением численности всех эколого-трофических групп и изменением структуры сообщества, что, несомненно, негативно отражается на процессах самоочищения ДО.

Выводы

Проведенные исследования показали, что распределение исследованных компонентов по площади дна оз. Мучке определяется как гранулометрическим составом ДО, обусловленным гидродинамикой эстуария, так и приуроченностью органических компонентов ($C_{орг}$, УВ, фитопигментов) в первую очередь к мелкодисперсной (алевритовой) фракции осадков.

Специфические гидролого-морфологические особенности эстуария р. Мучке (полузамкнутость акватории, малые глубины, благоприятный температурный режим) способствуют интенсивному развитию макро- и микрофитобентосных сообществ, продукция которых обеспечивает высокое содержание $C_{орг}$ (2,6–3,7 %) в осадках алеврито-псаммитового типа.

В центральной части озера после аварийного разлива мазута сохранились тяжелые фракции УВ. Более чем за десятилетний период в верхнем слое осадков произошло микробиологическое и физико-химическое выветривание основной массы нефтепродуктов. В то же время качественный и количественный анализы УВ показали, что процессы трансформации тяжелых фракций в настоящее время продолжают, а ДО по-прежнему остаются источником вторичного загрязнения водной экосистемы оз. Мучке, на это также указывает обнаружение высоких концентраций ЛАУ (до 141 мг/кг) в осадках озера.

Бактериобентосное сообщество нефтезагрязненного грунта центральной части озера находится в угнетенном состоянии, что отражается на процессах самоочищения ДО от нефтепродуктов.

В настоящее время нефтяная нагрузка на водный объект вызвана поверхностным стоком с территории нефтехранилища, расположенного на южном берегу озера. Среднее содержание УВ в преобладающих в озере осадках алеврито-псаммитового типа составляет 1,5 мг/г, что в 15 раз превышает их фоновые концентрации (0,1 мг/г) для данного типа осадков [2, 22]. Наличие нефтяного загрязнения ДО оз. Мучке нефтепродуктами находит отражение в высокой, от 3,38 до 16,25 % (в среднем 11,5 %), доле УВ в составе $C_{\text{орг}}$.

Очевидно, что в настоящее время эстуарий р. Мучке не способен справляться с функцией маргинального фильтра для экосистемы Татарского пролива Японского моря. При существующем уровне нефтяной нагрузки его донные отложения превращаются в источник вторичного загрязнения.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ИВЭП ДВО РАН д.б.н., заведующей лабораторией Г.В. Харитоновой, к.г.н., старшему научному сотруднику С.И. Левшиной, к.б.н., в.н.с М.А. Климину за консультации и помощь в выполнении анализов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.
2. Галимов Э.М., Кодина Л.А., Степанец О.В. Биогеохимия и проблемы радиоактивного загрязнения морей России (на примере Карского моря) // *Фундаментальные исследования океанов и морей*. Т. 2. М.: Наука, 2006. С. 440–465.
3. Гаретова Л.А., Левшина С.И., Фишер Н.К., Сиротский С.Е., Шестеркин В.П. Распределение органического вещества, фитопигментов и гетеротрофных бактерий вдоль градиента солености в эстуариях малых рек бассейна Татарского пролива // *Изв. ТИНРО*. 2016. Т. 184. С. 219–235.
4. Гаретова Л.А., Фишер Н.К. Состав и генезис органического вещества в донных отложениях зоны смешения вод (юго-западный район Татарского пролива) // *Экол. химия*. 2017. Т. 26, № 3. С. 124–131.
5. Гаретова Л.А. Углеводороды в лагунном эстуарии Татарского пролива // *Изв. ТИНРО*. 2013. Т. 172. С. 196–207.
6. Дзюбан А.Н. Особенности функционирования бактериобентосных сообществ в условиях нефтяного загрязнения грунтов // *Вода: химия и экология*. 2015. № 6. С. 39–42.
7. Колпаков Н.В. Продукция макрофитов в эстуариях рек Приморья // *Изв. ТИНРО*. 2013. Т. 174. С. 135–148.
8. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 285 с.
9. Лисицын А.П. Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 438 с.
10. Лихт Ф.Р., Астахов А.С., Боцул А.И. и др. Структура осадков и фации Японского моря / ТОИ ДВНЦ АН СССР. Владивосток, 1983. 283 с.
11. Немировская И.А. Углеводороды в воде и донных осадках в районе постоянного нефтяного загрязнения // *Геохимия*. 2007. № 7. С. 704–717.
12. Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег–лед–вода–взвесь–донные осадки). М.: Науч. мир, 2004. 318 с.
13. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Даниленко А.О. Антропогенная нагрузка на устьевые области рек Дальнего Востока в современных условиях // *Вода: химия и экология*. 2012. № 2. С. 11–17.
14. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем. Ростов н/Д: НОК, 2008. 222 с.
15. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: М.: ВНИРО, 2001. 247 с.
16. ПНД Ф 14.1:2.4.201-03. Методика выполнения измерений массовой концентрации ацетона и метанола в пробах питьевых, природных и сточных вод газохроматографическим методом. М., 2003. 17 с.
17. ПНД Ф 14.1:2.4.57-96. Методика выполнения измерений массовых концентраций ароматических углеводородов в питьевых, природных и сточных водах газохроматографическим методом. М., 2011. 18 с.
18. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М.: Гос. ком. РФ по охране окружающей среды, 2005. 21 с.
19. Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Значимость пигментных характеристик фитопланктона при оценке качества воды // *Вод. ресурсы*. 2004. № 4. С. 475–480.
20. Сигарева Л.Е. Хлорофилл в донных отложениях Волжских водоемов. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2012. 217 с.
21. Jickells T.D., Andrews J.E., Parkes D.J. et al. Nutrient transport through estuaries: The importance of the estuarine geography // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2014. Vol. 150. P. 215–229.
22. Tolosa I., Mora S., Sheikholeslami M.R., Villeneuve J.-P., Bartocci J., Cattini C. Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments // *Mar. Pollut. Bull.* 2004. Vol. 48. P. 44–60.