

УДК 543.38:543.51

DOI: 10.15372/KhUR2023464

EDN: EVGUSF

Исследование антропогенного влияния на состав органического вещества в воде и донных отложениях залива Паршиха озера Чаны (Новосибирская область)

Е. А. ЕЛЬЧАНИНОВА, О. В. СЕРЕБРЕННИКОВА, Е. Б. СТРЕЛЬНИКОВА, И. В. РУССКИХ, Д. В. ФЕДОРОВ

Институт химии нефти СО РАН,
Томск (Россия)

E-mail: helene@ipc.tsc.ru

(Поступила 07.06.22; после доработки 21.10.22)

Аннотация

Изучено распределение биоорганических компонентов, а также соединений антропогенного и смешанного происхождения в осадках и воде залива Паршиха солоноватого озера Чаны (Новосибирская область). По составу идентифицированных соединений (ациклические, ароматические и нафтеновые углеводороды, ациклические и алициклические кислородорганические соединения, стероиды, бициклические сесквитерпеноиды и пентациклические тритерпеноиды) оценен вклад основных источников органического вещества в воде и донных отложениях. Установлено, что формирование состава этих объектов происходит главным образом за счет соединений биогенного и смешанного происхождения. Соотношение нечетных алканов к четным, равное единице, а также наличие циклогексанов и дриманов, не характерных для современных осадков, указывают на присутствие нефтепродуктов. Выявлены также соединения хозяйственно-бытового назначения – трифенилфосфаты и фталаты, которые используются в качестве пластификаторов при производстве полимерных материалов.

Ключевые слова: донные отложения, вода, органическое вещество, углеводороды, биоорганические компоненты, соединения антропогенного происхождения

ВВЕДЕНИЕ

Обычно природный состав воды и донных отложений (ДО) озер представлен широким спектром органических соединений наземного и водного происхождения [1, 2]. Концентрации этих веществ могут значительно варьировать в зависимости от биологической продуктивности и гидрологического состояния исследуемой территории.

Донные отложения являются важнейшей составляющей водных объектов, в значительной степени определяющей их состояние, поскольку именно в них происходит аккумуляция большей

части органических и неорганических, в том числе наиболее опасных и токсичных, загрязняющих веществ [3–5].

Наличие загрязняющих органических веществ (ОВ) в объектах природной среды может привести к негативным экологическим последствиям. Оценка такого загрязнения требует детального анализа индивидуального состава ОВ.

Озеро Чаны и прилегающие водно-болотные угодья с начала XIX в. испытывают сильный экологический пресс, обусловленный как природными, так и антропогенными факторами [6]. Комплексная характеристика экосистемы

оз. Чаны и прилегающей к нему территории дана в [7, 8].

Система Чановских озер на протяжении последних столетий испытывает значительные колебания уровня на фоне постепенного сокращения объемов воды в озерных котловинах. Сокращению притока воды в озеро способствует хозяйственное освоение прилегающей территории (распашка земель, прокладывание дорог вдоль береговой линии и др.). Процесс обмеления оз. Чаны обусловил увеличение минерализации, изменение температурного и кислородного режимов водных масс. Образование обширных мелководий, 25 % которых промерзает зимой до дна, и повышение минерализации воды до 20 г/дм³ наносят ущерб рыбным ресурсам и угрожают жизни всей совокупности организмов, населяющих водоем [9].

Повышение солености в водоемах Чанской озерной системы обусловило также возрастание щелочности воды и образование соединений, непригодных для нормального развития растений, которые стимулируют массовое размножение цианобактерий, выделяющих ядовитые вещества, вызывающие гибель рыб и других гидробионтов [8].

Несмотря на то, что на водосборе оз. Чаны не расположено крупных промышленных предприятий, а уровень развития сельского хозяйства невысок, водные объекты существенно загрязнены фенолами, нефтепродуктами и другими ОБ [9]. В целом диапазон качества вод в озерах изменяется от класса умеренно-загрязненных до чрезвычайно-грязных [10].

Высокое загрязнение озер обусловлено как поступлением загрязненных вод рек Чулым и Каргат, так и наличием собственных источников загрязнения на прибрежных территориях, к которым относятся неорганизованные хозяйственно-бытовые стоки частных усадеб, а также сельскохозяйственные стоки животноводческих и свиноводческих комплексов. Существенный вклад в загрязнение озер вносит плоскостной смыл с сельскохозяйственных полей, пастбищ и площадей, занятых свалками бытового мусора и навоза. Очистных сооружений стоков в населенных пунктах, расположенных на территории, прилегающей к оз. Чаны, нет. Канализационные воды из выгребных ям поступают на свалки, поля фильтрации или выливаются неорганизованно, иногда вблизи водных объектов. С каждым годом увеличиваются площади, занятые свалками, отмечено складирование навоза в

пойме водоемов вблизи животноводческих и свиноводческих ферм.

Залив Паршиха находится в северной части оз. Чаны недалеко от Кирзинского государственного природного заказника, в экологически благополучном месте. Состав воды и ДО в этом районе представляет интерес как образец состава ОБ на относительно чистом фоновом участке озера при оценке степени антропогенного загрязнения органическими компонентами других его частей.

Цель данной работы – изучение распределения органических соединений в воде и поверхностном слое ДО залива Паршиха, характеризующегося незначительным антропогенным воздействием и находящегося в экологически благополучном месте.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Воды всех частей оз. Чаны по классификации О. А. Алекина относятся к солоноватым водам хлоридного класса натриевой группы третьего типа [7]. Воды озера имеют щелочную реакцию (рН 8.8–10.0). Температурный режим озера характеризуется хорошим прогревом (до 22–24 °С на мелководье) воды в летний период и переохлаждением ее зимой до отрицательных температур на участках с повышенной соленостью [11].

На озерных берегах расположены 17 небольших деревень, базы отдыха, развито местное судостроительство. Дно водоема песчано-илистое. В прибрежной зоне растет осока, камыш, тростник.

Материалы

Для исследования были отобраны три пробы воды и соответствующие им ДО на севере озера недалеко от Кирзинского государственного природного заказника. Пробы отобраны в июле 2019 г., карта-схема мест отбора проб приведена на рис. 1.

Методы исследования

Липофильные экстрактивные вещества (липиды) выделяли из ДО экстракцией смесью растворителей (7 % раствор метанола в хлороформе) при 60 °С. Органические вещества из воды (5 дм³) экстрагировали хлороформом при комнатной температуре. Анализ состава органических соединений проводили с помощью магнитного хромато-масс-спектрометра



Рис. 1. Карта-схема мест отбора образцов воды и донных отложений озера Чаны: 1 – крайняя дальняя юго-западная оконечность Казанцовского мыса, отделяющего залив Паршиха от береговой линии озера (55°02.375'N, 77°33.612'E); 2 – центральная часть входа в залив Паршиха (55°01.802'N, 77°33.522'E); 3 – наиболее углубленная в сушу часть залива вблизи деревни Казанцево (55°03.862'N, 77°39.562'E).

Trace-DSQ (Thermo Scientific, Германия), аттестованного с погрешностью определения не более 5 %. Разделение осуществляли на кварцевой капиллярной хроматографической колонке фирмы Agilent с внутренним диаметром 0.25 мм, толщиной 0.25 мм, длиной 30 м и неподвижной фазой DB-5MS; газ-носитель – гелий. Хроматографирование проводили без расщепления газового потока. Исследуемые пробы ступенчато нагревались в токе гелия по температурной программе: на первой ступени при изотерме $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2 мин), далее со скоростью $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последующей 30-минутной выдержкой при этой температуре. Масс-спектрометр: метод ионизации – электронный удар; энергия ионизирующих электронов – 70 эВ; температура ионизационной камеры и интерфейса – $270\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Хроматограммы органических компонентов были получены по общему ионному току (TIC) и характеристическим фрагментным ионам (SIM). Идентификацию соединений проводили компьютерным поиском в библиотеке Национального института стандартов NIST-05, по литературным данным и реконструкцией структур по характеру ионной фрагментации. Содержание компонентов определяли по площади соответ-

ствующих пиков на хроматограммах с использованием внутреннего стандарта (дейтероацетнафтен $\text{C}_{12}\text{D}_{10}$) по формуле:

$$C_i = (S_i M_{st}) / (S_{st} m_i)$$

где C_i – содержание искомого компонента, мкг/г (мкг/дм³); M_{st} – масса стандарта, мкг; S_i и S_{st} – площади хроматографических пиков искомого компонента и стандарта соответственно; m_i – масса сухого осадка, г (объем образца воды, дм³).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В составе воды и ДО в заливе Паршиха оз. Чаны обнаружен широкий спектр органических соединений: ациклические, ароматические и нафтеновые углеводороды (УВ), ациклические и алициклические кислородорганические соединения (КОС), а также стероиды, бициклические сесквитерпеноиды (БЦТ) и пентациклические тритерпеноиды (ПЦТ) (табл. 1).

По составу n -алканов можно оценить вклад наземных растений и водорослей в состав исходного ОВ, а также влияние антропогенной нагрузки. Молекулярно-массовое распределение n -алканов в ДО и воде озера показывает некоторые различия в их составе (рис. 2).

ТАБЛИЦА 1

Содержание отдельных групп органических соединений в донных отложениях (мкг/г сухого остатка) и воде (мкг/дм³) залива Паршиха озера Чаны и рассчитанные по их составу коэффициенты

Соединения	Донные отложения ^а			Вода ^а		
	1	2	3	1	2	3
Ациклические углеводороды						
n-Алканы	7.839	3.164	4.633	1.031	1.261	1.474
Ароматические углеводороды						
Диметилнафталины	0.001	0.002	0.002	0.062	0.069	0.041
Триметилнафталины	0.001	0.002	0.002	0.047	0.052	0.032
Фенантрен	0.002	0.001	0.001	0.007	0.013	0.003
Метилфенантрены	0.010	0.011	0.001	0.039	0.055	0.139
Флуорантен + пирен	0.003	0.002	0.009	0.016	0.009	0.008
Нафтеновые углеводороды						
Циклогексаны	0.069	0.071	0.039	0	0	0
Дриманы	0.011	0.017	0.017	0.347	0.384	0.269
Кислородорганические соединения						
Насыщенные кислоты	0.550	0.561	1.917	1.265	1.649	4.142
Ненасыщенные кислоты	0	0	0.038	0.132	0.262	0.410
Метилловые эфиры	0.088	0.114	0.133	1.050	1.128	0.889
Изопропиловые эфиры	0.021	2.221	0.019	0.028	0.028	0.110
n-Алкан-2-оны	0.067	0.030	0.600	0	0	0
Токоферолы	0.002	0.120	0.118	0	0.001	0.003
Фитон	0.008	0.012	0.059	0.018	0.020	0.229
Длинноцепочечные эфиры	0	0	0	0	0	31.657
Трифенилфосфаты	0.006	0.004	0.002	0.032	0.017	0.038
Диизобутилфталат	2.981	5.240	4.032	6.487	6.123	4.899
Дибутылфталат	0.794	1.009	1.175	1.857	1.562	1.322
Диизооктилфталат	3.057	5.026	0.259	1.571	1.377	2.405
Тритерпеноиды и стероиды						
Сесквитерпеноиды	0.019	0.030	0.156	0	0	0
Стероиды:	0.124	0.192	2.279	0.477	0.327	0.438
C ₂₇	0.004	0	0.073	0.281	0.098	0.122
C ₂₈	0.002	0.002	0.280	0.017	0.006	0.009
C ₂₉	0.119	0.190	1.926	0.179	0.223	0.307
Пентациклические тритерпеноиды:	0.222	0.217	2.619	0.429	0.494	0.531
Лупены	0.127	0.075	1.151	0.280	0.327	0.369
Олеанены	0.095	0.142	1.468	0.150	0.168	0.162
Коэффициенты						
Стероиды C ₂₇ /C ₂₉	0.03	0	0.04	1.57	0.44	0.40
Лупены/Олеанены	1.3	0.5	0.8	1.9	1.9	2.3
CPI (C ₁₆ -C ₂₄) ^б	1.1	1.0	1.3	1.1	0.8	1.6
CPI (C ₂₆ -C ₃₄) ^в	1.3	1.1	2.6	1.3	1.3	2.2

^а Номера образцов соответствуют данным рис. 1.

^б CPI (C₁₆-C₂₄) = 2(C₁₇ + C₁₉ + C₂₁ + C₂₃)/[(C₁₆ + C₁₈ + C₂₀ + C₂₂) + (C₁₈ + C₂₀ + C₂₂ + C₂₄)].

^в CPI (C₂₆-C₃₄) = 2 (C₂₇ + C₂₉ + C₃₁)/[(C₂₆ + C₂₈ + C₃₀) + (C₂₈ + C₃₀ + C₃₂)].

В ДО n-алканы являются самой представительной группой соединений, их концентрация меняется от 3.2 до 7.8 мкг/г с максимумом в образце 1 (см. табл. 1). Основной максимум распределения n-алканов в образцах 1 и 2 приходится на средне-молекулярную область

(C₂₀-C₃₀), а в образце 3 сдвигается в более высокомолекулярную (C₂₂-C₃₂) с преобладанием нечетных гомологов C₂₇-C₃₁ с максимальным содержанием алкана C₃₁. Такое распределение соединений в исследованных образцах связано с различиями состава исходного ОВ. Основной

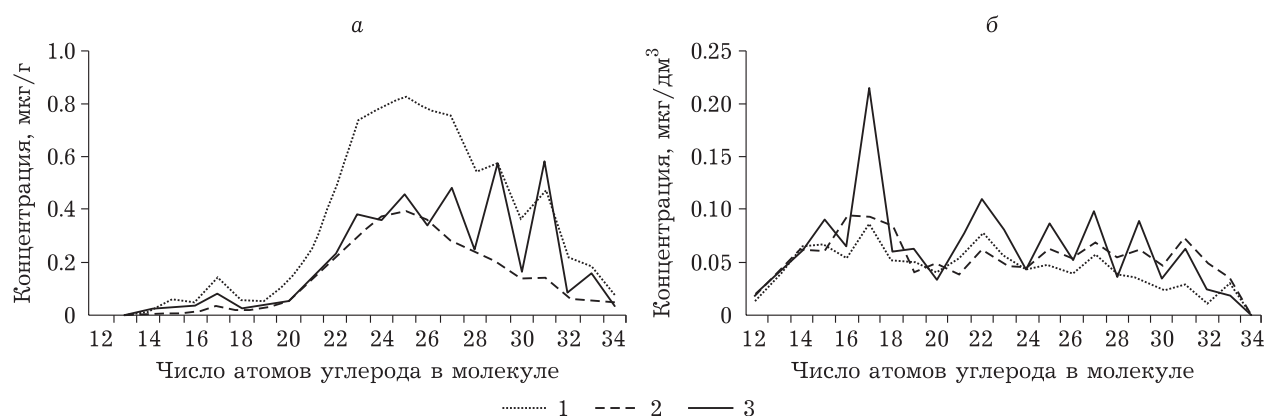


Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение n -алканов в донных отложениях (а) и воде (б) залива Паршиха оз. Чаны. Номера образцов соответствуют данным рис. 1.

вклад в ОВ образца 3 вносят наземные растения [12], а образцов 1 и 2 – водные растения [13, 14]. В образце ДО 1 также обнаружен стигмаст-7-ен-3-ол, который характерен для водорослей [15].

В воде содержание n -алканов варьирует от 1.0 до 1.5 мкг/дм³ и доля низкомолекулярных алканов сопоставима с высокомолекулярными. Различия по содержанию n -алканов в воде и ДО видны на рис. 3. В воде преобладают низкомолекулярные алканы состава C_{15} и C_{17} , а в ДО – средне- и высокомолекулярные. Значительное преобладание высокомолекулярных алканов состава C_{27} и C_{29} отмечено для образца 3.

Из природных соединений обнаружены БЦТ, стероиды и ПЦТ. Бициклические сесквитерпеноиды присутствуют только в ДО (см. табл. 1), в воде они не обнаружены. Содержание стероидов в ДО колеблется от 0.4 до 2.3 мкг/г с максимумом в образце 3, а в воде – от 0.1 до 0.5 мкг/дм³. Аналогичную стероидам картину распределения имеют ПЦТ, включающие лупены – алкилзамещенные мононенасыщенные циклопентапергидрохризены, а также олеанены и урсены, представляющие собой метилзамещенные мононенасыщенные пергидропицены. Это может свидетельствовать о том, что в образце 3 в отличие от первых двух в составе биопродукторов ОВ преобладают наземные растения. Пентациклические тритерпеноиды, в состав которых входят олеанены, урсены и лупены, являются типичными для цветковых растений [16, 17].

В составе стероидов в большинстве образцов ДО и воды преобладают стероиды состава C_{29} , а в образце воды 1 – C_{27} , что объясняется различным происхождением ОВ в этих образцах. Так, производные стигматана C_{29} , содержащие

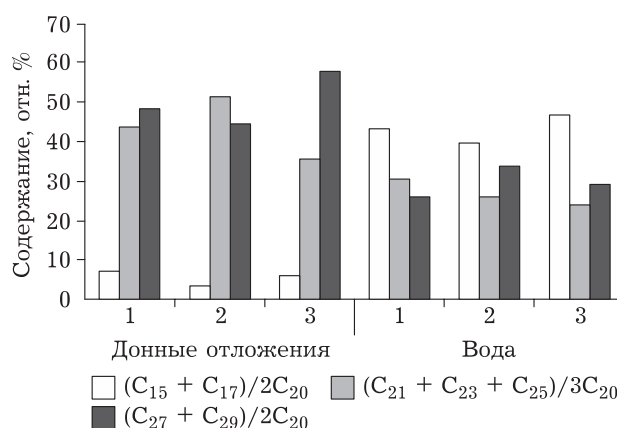


Рис. 3. Распределение n -алканов в образцах донных отложений и воды залива Паршиха оз. Чаны. Номера образцов соответствуют данным рис. 1.

в положении 24 молекулы холестерина этильную группу – стигмастерол (стигмаста-5,22-диен-3-ол) и ситостерол (стигмаст-5-ен-3-ол), типичны для высших растений и присутствуют в микроводорослях в подчиненном количестве. Преобладание холестерина C_{27} в озерной фауне среди стеролов показано для дафнии [18], но среди представителей растительного мира он встречается редко, хотя в работе [19] сообщалось о присутствии холестерина в пресноводных водорослях *Nannochloropsis limnetica*, а также в цианобактериях.

Среди ДО озера значительное содержание природных кислородорганических соединений, в том числе n -алкан-2-онов (рис. 4), отмечено для образца 3. Длинноцепочечные эфиры в высокой концентрации (31.6 мкг/дм³) обнаружены только в воде этого образца.

Следует также учитывать, что на состав и концентрацию природного ОВ может влиять

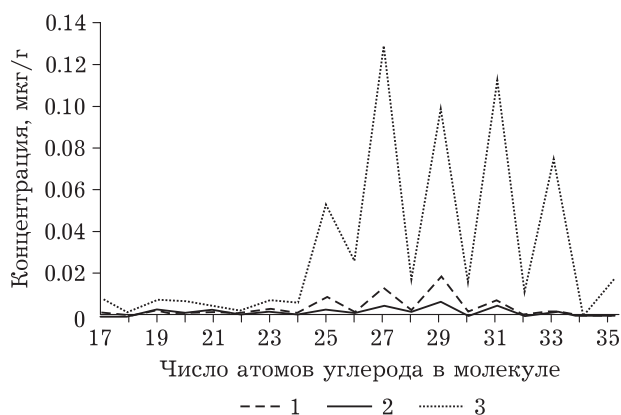


Рис. 4. Распределение *n*-алкан-2-олов (мкг/г) в донных отложениях залива Паршиха оз. Чаны. Номера образцов соответствуют данным рис. 1.

место отбора образцов и соотношение компонентов в системе “вода – осадок”. Образцы ДО 1 и 2 отобраны в более глубоководной части озера, где течение сильнее и состав ОВ определяется составом воды, а образец 3 – в более мелководной части, течение там слабее и состав ОВ определяется больше осадком.

Наряду с природными компонентами в заливе были установлены соединения антропогенного происхождения. Во всех исследованных образцах обнаружены предположительно нефтяные дриманы (сесквитерпаны), нехарактерные для современных осадков. В последних сесквитерпеноиды представлены обычно мононенасыщенными терпенами, причем их содержание в воде значительно больше, чем в ДО, и максимумы приходятся на образцы 2 и 3 (рис. 5).

Во всех образцах ДО обнаружены циклогексаны состава C_{27} – C_{33} , которые также имеют антропогенное происхождение, их максимальные концентрации определены в образцах 1 и 2

(см. табл. 1). Отсутствие этих соединений в воде объясняется способностью ДО накапливать и адсорбировать из воды органические компоненты как природного, так и антропогенного воздействия.

Отмечено, что в отличие от образца 3, в составе *n*-алканов образцов 1 и 2, отобранных в более глубоководных местах, нет четкого преобладания нечетных алканов над четными, что может указывать на загрязнение нефтепродуктами (например, топливом моторных лодок). Коэффициент СРІ (отношение нечетных к четным *n*-алканам) используют для выявления нефтяных компонентов в воде и ДО [20]. Его значения в ДО изменяется от 1.0 до 1.3, а в воде – от 0.8 до 1.6, с максимумами в образцах 3 воды и ДО.

Среди ароматических УВ обнаружено невысокое содержание би-, три- и тетрациклических соединений как в ДО, так и в воде. Большинство из них имеют природное происхождение, только флуорантены и пирены относят к соединениям антропогенного происхождения, преимущественно пирогенного [21]. Повышенное содержание этих веществ отмечено в образце ДО 3, отобранного вблизи деревни. Возможно, это связано с кострами, которые разводят на берегу озера.

Идентифицированные в исследованных образцах ДО и воды кислородорганические соединения в большинстве своем имеют природное происхождение, за исключением фталатов (ФТ) и трифенилфосфатов (ТФФ). Наличие ТФФ и ФТ в образцах связывают с хозяйственно-бытовым загрязнением озера. Трифенилфосфат применяется в производстве различных полимеров как пластифицирующая и антипиренная добавка [22]. Фталаты используются при производстве пластмассы и моющих средств. В ДО содержание ТФФ изменяется от 0.002 до 0.006 мкг/г,

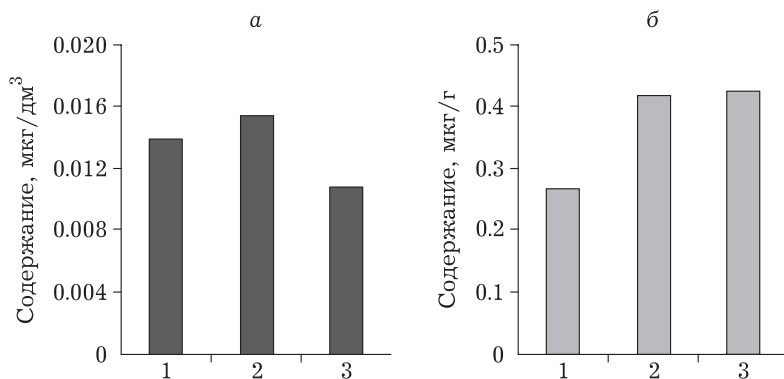


Рис. 5. Распределение дриманов в донных отложениях (а) и воде (б) залива Паршиха оз. Чаны. Номера образцов соответствуют данным рис. 1.

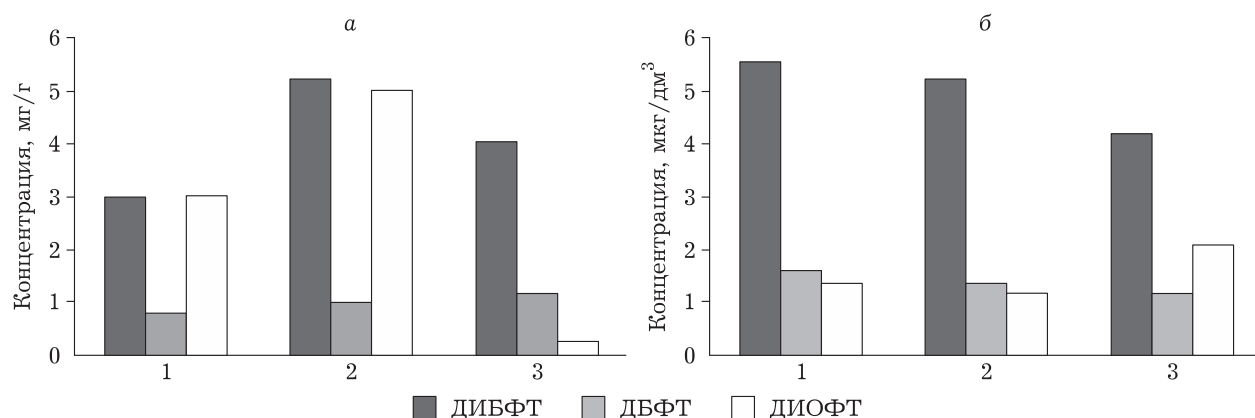


Рис. 6. Распределение фталатов в донных отложениях (а) и воде (б) залива Паршиха оз. Чаны. ДИБФТ – диизобутилфталаты; ДБФТ – дибутилфталаты; ДИОФТ – диизооктилфталаты. Номера образцов соответствуют данным рис. 1.

а в воде их существенно больше – от 0.017 до 0.038 мкг/дм³ (см. табл. 1).

Фталаты представлены диизобутилфталатом (ДИБФТ), дибутилфталатом (ДБФТ) и диизооктилфталатом (ДИОФТ). Распределение этих соединений в воде и ДО приведено на рис. 6.

Во всех образцах ДО и воды преобладает ДИБФТ. Повышенное содержание ДИОФТ отмечено в образцах ДО 1 и 2, а также в образце воды 3. Для ДБФТ установлена предельно-допустимая концентрация (ПДК) в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования 0.2 мкг/дм³ [23]. Содержание ДБФТ в воде залива озера превышает ПДК в среднем в шесть раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, детальное исследование ОВ воды и ДО залива Паршиха оз. Чаны показало, что, кроме природных соединений, на всех исследованных участках залива присутствуют загрязняющие вещества как нефтяного, так и хозяйственно-бытового происхождения. На всех изученных участках отмечены высокие концентрации ФТ и ТФФ, которые содержатся в пластмассе и моющих средствах, что свидетельствует о наличии мусора из пластикового материала в воде залива. Соединения пирогенного характера присутствуют в низкой концентрации. Нефтяные компоненты (дриманы, циклогексаны и алканы) в повышенных концентрациях обнаружены в юго-западной оконечности Казанцовского мыса, отделяющего залив Паршиха от береговой линии озера и центральной части входа в залив Паршиха. Это может быть связано с активной рыбалкой на моторных лодках на этих участках озера.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН (НИОКТР 121031500046-7), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Pearson E. J., Farrimond P., Juggins S. Lipid geochemistry of lake sediments from semi-arid Spain: Relationships with source inputs and environmental factors // *Org. Geochem.* 2007. Vol. 38, No. 7. P. 1169–1196.
- Muri G., Wakeham S. G. Organic matter and lipids in sediments of Lake Bled (NW Slovenia): Source and effect of anoxic and oxic depositional regimes // *Org. Geochem.* 2006. Vol. 37, No. 12. P. 1664–1679.
- Двуреченская С. Я. Анализ роли различных источников поступления химических веществ в воды Новосибирского водохранилища // *Сиб. экол. журн.* 2012. Т. 5, № 4. С. 473–478.
- Гладышев М. И., Анищенко О. В., Сущик Н. Н., Калачева Г. С., Грибовская И. В., Агеев А. В. Влияние антропогенного загрязнения на содержание незаменимых полиненасыщенных жирных кислот в звеньях трофической цепи речной экосистемы // *Сиб. экол. журн.* 2012. Т. 19, № 4. С. 511–521.
- Русских И. В., Стрельникова Е. Б., Серебренникова О. В., Ельчанинова Е. А. Биоорганические компоненты и соединения нефтяного ряда в донных отложениях озер Тус и Черного (Хакасия) // *Сиб. экол. журн.* 2017. Т. 24, № 2. С. 218–228.
- Василенко В. А. Чаны надо спасать // *ЭКО.* 2004. № 11 (365). С. 180–189.
- Пульсирующее озеро Чаны. Л.: Наука, 1982. 304 с.
- Экология озера Чаны: сб. науч. тр. / под. ред. Б. Г. Иоганзена, Г. М. Кривошекова. Новосибирск: Наука, 1986. 270 с.
- Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь). Новосибирск: Академ. изд-во “Гео”, 2015. 255 с.
- Доклад Новосибирского областного комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов “Состояние окружающей природной среды в Новосибирской области в 1997 г.” / отв. ред. А. И. Петрик, Ю. Ю. Марченко. Новосибирск, 1998. 248 с.
- Савкин В. М., Двуреченская С. Я., Сапрыкина Я. В., Марусин К. В. Основные гидролого-морфометрические характеристики озера Чаны // *Сиб. экол. журн.* 2005. Т. 12, № 2. С. 183–192.

- 12 Pancost R. D., Baas M., van Geel B., Sinninghe Damsté J. S. Biomarkers as proxies for plant inputs to peats: An example from a sub-boreal ombrotrophic bog // *Org. Geochem.* 2002. Vol. 33, No. 7. P. 675–690.
- 13 Lea-Smith D. J., Biller S. J., Davey M. P., Cotton C. A. R., Perez B. M., Turchyn S. A. V., Scanlan D. J., Smith A. G., Chisholm S. W., Howe C. J. Contribution of cyanobacterial alkane production to the ocean hydrocarbon cycle // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2015. Vol. 112, No. 44. P. 13591–13596.
- 14 Sorigué D., Légeret B., Cuiné S., Morales P., Mirabella B., Guédeney G., Li-Beisson Y., Jetter R., Peltier G., Beisson F. Microalgae synthesize hydrocarbons from long-chain fatty acids *via* a light-dependent pathway // *Plant Physiol.* 2016. Vol. 171, No. 4. P. 2393–2405.
- 15 Atwood A. R., Volkman J. K., Sachs J. P. Characterization of unusual sterols and long chain diols, triols, keto-ols and *n*-alkenols in El Junco Lake, Galápagos // *Org. Geochem.* 2014. Vol. 66. P. 80–89.
- 16 Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. *The Biomarker Guide: II. Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History.* Cambridge University Press, 2005. 704 p.
- 17 Nelson A., Ferro E. A. Bioactive triterpenes and related compounds from Celastraceae // *Stud. Nat. Prod. Chem.* 2005. Vol. 36, No. 36. P. 635–702.
- 18 Martin-Creuzburg D., Merkel P. Sterols of freshwater microalgae: Potential implications for zooplankton nutrition // *Plankton Res.* 2016. Vol. 38, No. 4. P. 865–877.
- 19 Singh R., Parihar P., Singh M., Bajguz A., Kumar J., Singh S., Singh V. P., Prasad S. M. Uncovering potential applications of cyanobacteria and algal metabolites in biology, agriculture and medicine: Current status and future prospects // *Front. Microbiol.* 2017. Vol. 8. P. 1–37.
- 20 Кульков М. Г., Артамонов В. Ю., Коржов Ю. В., Углев В. В. Индивидуальные органические соединения нефти как индикаторы техногенного нефтяного загрязнения водной среды // *Изв. Томского политехн. ун-та.* 2010. Т. 317, № 1. С. 195–200.
- 21 Budzinski H., Jones I., Pierard C., Garrigues P. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary // *Marine Chemistry.* 1997. Vol. 58. P. 85–97.
- 22 *Химическая энциклопедия.* Т. 5. / под ред. Н. С. Зефирова. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. 783 с.
- 23 ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03). М.: Санэпидслужба, 2003. 77 с.