

УДК 550.47

СТРУКТУРНО-ГРУППОВОЙ СОСТАВ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Иванова Ирина Сергеевна^{1,2},
IvanovaIS_1986@mail.ru

Король Ирина Степановна^{2,3},
irinakorol@yandex.ru

Широкова Людмила Сергеевна¹,
lshirocova@yandex.ru

Покровский Олег Сергеевич^{4,1},
oleg.pokrovsky@get.omp.eu

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН, Россия, 163000, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 23.

² Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический, 4.

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

⁴ Национальный центр научных исследований Франции, France, 31400, Toulouse, Avenue Edouard Belin, 14.

Актуальность исследования связана с интенсивным хозяйственным освоением арктической части Европейского Севера России, которое влечет за собой резкое увеличение антропогенной нагрузки на уязвимые экосистемы Крайнего Севера. В условиях потепления климата таяние вечной мерзлоты может провоцировать образование новых термокарстовых озер и просадок, что в свою очередь способствует выводу органического вещества из торфа в поверхностные воды.

Цель исследования: выявление особенностей состава растворенного органического вещества и его возможных источников в водах термокарстовых озер, расположенных на одном из ключевых участков исследований Большеземельской тундры (вблизи г. Нарьян-Мар), имеющих разные площади водного зеркала и находящихся на разных этапах развития.

Методы. Анализ содержания растворенного органического углерода в водах термокарстовых озер был выполнен в лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы методом полного сжигания растворенного органического углерода. В лаборатории физико-химических методов исследования Института химии нефти СО РАН (г. Томск) методом трехступенчатой экстракции при различных pH были получены хлороформные концентраты, содержащие растворенные органические вещества. Концентраты изучались методом инфракрасной спектроскопии для установления условного содержания структур органических веществ. Методом хромато-масс-спектрометрии был определен структурно-групповой состав растворенных органических веществ.

Результаты. Органические соединения в водах термокарстовых озер Большеземельской тундры представлены в основном углеводородами алифатического строения, сложными эфирами карбоновых кислот и ароматическими соединениями, принадлежащими трем гомологическим рядам. Установлено, что в малом кислом озере BZ-12 преобладают низкомолекулярные n-алканы, основными источниками которых являются низшие растения (одноклеточные водоросли) и фитопланктон. В более зрелом и менее кислом озере BZ-13 n-алканы представлены длинными молекулярными цепями, характерными для высших наземных растений и прибрежно-морских водорослей. Установлено, что с развитием экосистемы озера при переработке слоя торфяных осадков в водах озер происходит смена органического вещества с автохтонного на аллохтонное.

Ключевые слова:

Большеземельская тундра, термокарстовые озера, растворенное органическое вещество, углерод, алканы.

Введение

Интенсивное хозяйственное освоение арктической части Европейского Севера России влечет за собой резкое увеличение антропогенной нагрузки на уязвимые экосистемы Крайнего Севера. Территория Большеземельской тундры (БЗТ) содержит большое количество озер, в том числе и термокарстовых, которые характеризуются простыми округлыми очертаниями, небольшой глубиной, торфяными обрывистыми берегами. В условиях потеп-

ления климата таяние вечной мерзлоты может провоцировать образование новых термокарстовых озер и просадок, что в свою очередь способствует выводу органического вещества из торфа в воды.

Органическое вещество является неотъемлемым компонентом химического состава природных вод, а также является показателем происходящих в них продукционно-деструкционных процессов. Органическое вещество (ОВ) в природных

водах имеет в основном два источника происхождения. Так, аллохтонное ОВ связано с разложением наземной растительности и поступает в воду с поверхностным стоком с водосбора; автохтонное ОВ образуется в результате протекания продукционно-деструкционных процессов в водоеме. Одноклеточные водоросли являются основным источником автохтонного ОВ в водоеме.

Исследованиями Большеземельской тундры занимаются сотрудники Института экологических проблем Севера УрО РАН, Института биологии Коми УрО РАН, Института проблем промышленной экологии Севера, Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Московского государственного университета. Тем не менее термокарстовые озера, несмотря на их большую численность, остаются слабоизученными. Изучение структурно-группового состава РОВ в водах озер является важным звеном при изучении круговорота углерода в природе.

Целью данной работы было выявление особенностей состава растворенного органического вещества в водах термокарстовых озер, расположенных на одном из ключевых участков исследований Большеземельской тундры (вблизи г. Нарьян-Мар), имеющих разные площади водного зеркала и находящихся на разных стадиях формирования. Также на основе полученных данных по химическому составу органического вещества были рассчитаны основные соотношения отдельных молекул, на основе которых были выявлены основные биопродукты ОВ, то есть основные источники ОВ.

Объекты и методы исследования

Начиная с 2015 г. на территории Большеземельской тундры сотрудниками лаборатории пресноводных и морских экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики РАН (ФИЦКИА РАН) ежегодно проводятся экспедиционные полевые работы, включающие в себя гидрохимическое, микробиологическое опробование природных вод. Так, в 2015 г. в 40 км от г. Нарьян-Мара для проведения наблюдений за состоянием экосистем термокарстовых озер был заложен один из ключевых участков исследований (рис. 1). БЗТ относится к Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, на территории которой ведется активная добыча углеводородного сырья, стоит отметить, что в 120 км юго-восточнее от заложенного участка расположено крупнейшее в Ненецком автономном округе Харьгинское нефтяное месторождение, разрабатываемое более 45 лет. Ландшафт ключевого участка исследований представлен термокарстовыми озерами, находящимися на разных стадиях формирования (в зависимости от их размера и возраста) [1, 2]. Питание поверхностных вод, в том числе и термокарстовых озер, осуществляется в основном за счет талых снеговых вод (до 75 % стока), дождевые воды имеют подчиненное значение (15–20 % стока), до-

ля подземных вод составляет 5–10 % либо отсутствует. Территория БЗТ характеризуется наличием многолетних мерзлых пород, которые препятствуют просачиванию в подпочвенные слои атмосферных осадков [3] и ограничивают циркуляцию подземных вод [4]. В 2015–2016 гг. в период установления летней межени на данном участке было отобрано 12 проб из 9 водных объектов (3 просадки и 6 озер). Пробы воды для изучения концентрации растворенного органического углерода (РОУ) отбирались из приповерхностного слоя водной толщи с глубины 0,1–0,2 м. Для определения структурно-группового состава растворенного органического вещества пробы отбирались также с приповерхностного слоя глубиной 0,2–0,3 м в стеклянную емкость. В каждой точке опробования проводились измерения быстроизменяющихся показателей: pH, электропроводность и содержание растворенного кислорода.

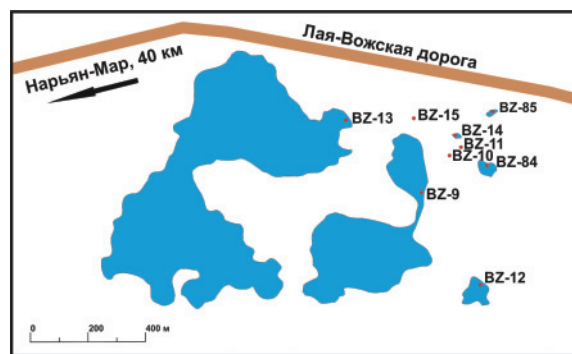


Рис. 1. Схема расположения точек опробования термокарстовых озер на ключевом участке около г. Нарьян-Мар, Большеземельская тундра

Fig. 1. Scheme of sampling plot near Naryan-Mar, Bolshezemelskaya tundra

Анализ содержания РОУ в водах термокарстовых озер был выполнен в лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы (GET) при помощи метода полного сжигания растворенного органического углерода при 800 °C на приборе TOC-VCSN, SHIMADZY.

В 2016 г. на исследуемом участке для детального изучения состава растворенного органического вещества в водах были выбраны два термокарстовых озера BZ-12 и BZ-13, находящихся на разных стадиях формирования (рис. 1). Состав органических веществ термокарстовых озер определялся в лаборатории физико-химических методов исследования Института химии нефти СО РАН (Томск). При анализе природных вод использовалась методика 625 Агентства по защите окружающей среды МУК 4.1.663–97 [5], основанная на получении хлороформных концентратов трехступенчатой экстракцией хлороформом при значениях pH 2, 7, 11 и предназначенная для обзорного определения органических соединений. Выбор данной методики обусловлен тем, что она не позволяет экстрагировать хлороформом самые известные органические соединения, растворенные в воде, – фульвовые

(ФК) и гуминовые кислоты (ГК) [6]. С помощью данной методики из отфильтрованных от механических примесей образцов воды были выделены хлороформные концентраты (ХК), содержание органических веществ (без учета ФК и ГК) в которых составило 0,48 мг/л (BZ-12) и 1,62 мг/л (BZ-13), соответственно. Далее хлороформные концентраты были изучены методом инфракрасной спектроскопии (ИК) и методом хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Инфракрасные спектры (ИК-спектры) хлороформных концентратов исследовали на ИК Фурье спектрометре Nicolet 5700 TermoElectron (USA) в диапазоне 4000–400 см⁻¹, с разрешением 4 см⁻¹. Анализ органических соединений в ХК вод проводили методом хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на хромато-масс-спектрометре Finnigan DSQ-EI/250 (Thermo Scientific, США) и хроматографической капиллярной колонке TR-5MS длиной 30 м и диаметром 0,25 мм, с фазой Phenyl Polysilphenylene-siloxane. Режим проведения анализа: газ-носитель – гелий, температура испарителя и интерфейса 250 °С, программа нагрева термостата: $t_{\text{нач}}=80$ °С, изотерма в течение 2 мин, нагрев со скоростью 4 град/мин до $t_{\text{max}}=300$ °С.

Результаты исследований и их обсуждение

Как показали исследования (табл. 1), общая тенденция происходящих изменений в водах заключается в снижении РОУ в процессе развития экосистемы озера и увеличении его размера (рис. 2), которая, скорее всего, связана с выщелачиванием торфа на границе озера и гетеротрофным поглощением РОВ в толще воды. Данная зависимость описана в работах Л.С. Широковой, Ж. Лин, К. Му, Р.М. Манасыпова, О.С. Покровского, С.Н. Кирпотина [7–13]. По данным авторов [14] содержания биогенных элементов в термокарстовых водных объектах также изменяется в зависимости от площади объекта, максимальные значения отмечены в водах просадок. Наиболее чувствительными индикаторами изменений химико-экологических условий водных экосистем являются микроорганизмы, количество и видовое разнообразие которых характеризует процессы, протекающие в одном объекте, то есть экологическое состояние экосистемы. Так, в работе С.А. Забелиной с соавторами [15] описана тенденция снижения количества гетеротрофных бактерий с увеличением площади водного объекта с 68–79 % в просадках и малых озерах площадью до 500 м² до 44 % в больших сформировавшихся озерах и до 14 % в хасырее (спущенное термокарстовое озеро). Доля олиготрофных бактерий наоборот увеличивалась от 2–3 % в просадках и малых озерах до 23–29 % – в сформировавшихся озерах. Биологическая ситуация водоема определяется его трофическим статусом, что влияет на содержание органических соединений в нем [16]. По состоянию планктонных сообществ, согласно классификации С.П. Китаева, озера, исследуемые на данном участке, являются олиготрофными [17].

Таблица 1. Физико-химические параметры вод термокарстовых озер на исследуемом ключевом участке

Table 1. Physical and chemical parameters of waters of thermokarst lakes on sampling plot

№ пробы Sample no.	Дата отбора пробы Date of sampling	Площадь водного зеркала, м ² Water-surface area, m ²	pH	Электропроводность, мкСм/см Conductivity, mS/cm	РОУ, мг/л DOC, ppm
BZ-11	21.07.2015	1,2	3,8	62,2	89,5
BZ-10	21.07.2015	1,35	4,6	20,6	18,9
BZ-15	22.07.2015	1,8	5,9	30,7	32,9
BZ-12	21.07.2015	5000	5,1	14,4	14,3
BZ-9	21.07.2015	10988	5,9	20,4	18,8
BZ-13	22.07.2015	265578	6,7	16,7	11,0
BZ-85	24.07.2016	937	4,8	32,3	59,7
BZ-84	24.07.2016	2345	5,2	21,3	32,9
BZ-12	24.07.2016	5000	5,1	14,0	16,2
BZ-9	24.07.2016	10988	5,3	16,6	15,9
BZ-13	24.07.2016	265578	6,2	17,0	10,9

DOC – dissolved organic carbon.

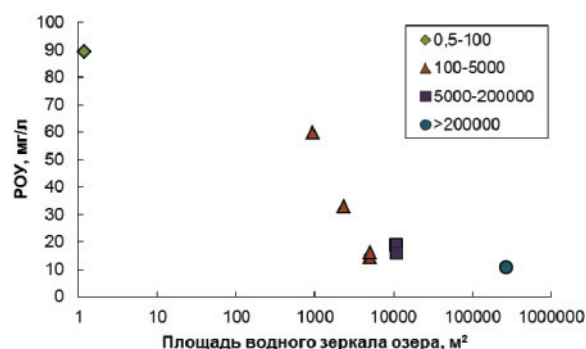


Рис. 2. Изменение содержания РОУ в зависимости от площади водного зеркала озера

Fig. 2. Changes of DOC content, depending on lake water-surface area

Анализ ИК спектров ХК, представленных на рис. 3, показал, что в выделенных органических веществах присутствуют алифатические структуры (полоса 1470 и 2922 см⁻¹), длинные алкильные структуры (полоса 720 см⁻¹), полоса поглощения 1462 см⁻¹, отвечающая за колебания СН₃-групп, а также СН₂-групп в ациклических и циклических структурах. Широкая ассиметричная полоса с максимумом 3400 см⁻¹ принадлежит ОН-группам (фенольной, спиртовой, карбоксильной), максимум около 1710 см⁻¹, обусловлен различными С=О-группами (кислоты, сложные эфиры), а полоса 1740 см⁻¹ принадлежит алифатическим эфирам. Серия слабых полос в диапазоне 930–700 см⁻¹ связана с внеплоскостными колебаниями различных ароматических СН-групп, а полоса 1600 см⁻¹ указывает на ароматические фрагменты [18].

Расчет спектральных ИК-коэффициентов позволяет сделать оценочную характеристику выделенных структур (табл. 2) и сравнить их наличие в ХК исследуемых вод [19].

Установлено, что вода малого термокарстового озера BZ-12 обогащена парафинами с более развет-

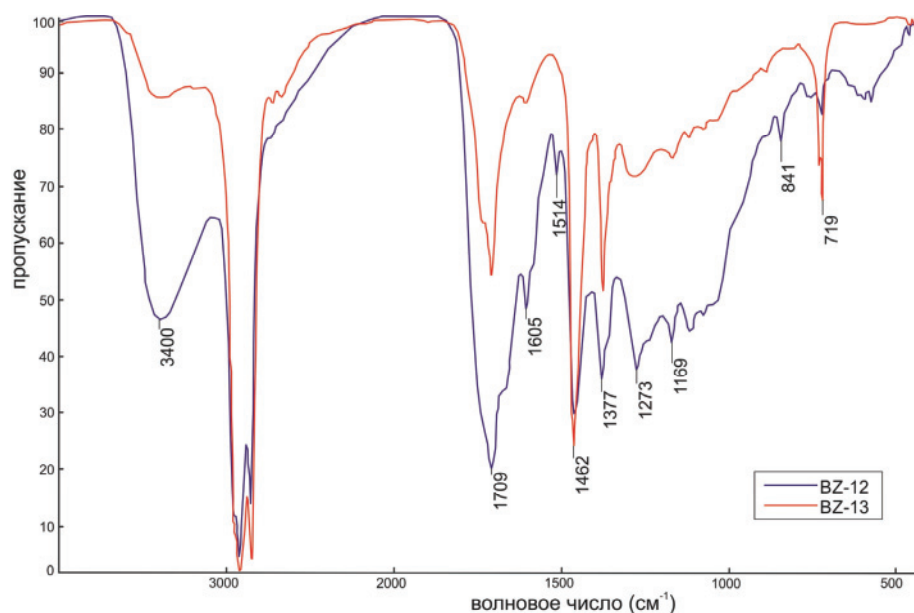


Рис. 3. Инфракрасные спектры хлороформных концентратов исследуемых термокарстовых озер

Fig. 3. Infrared ranges of chloroformed concentrates of waters of studied thermokarst lakes

вленной структурой и кислородсодержащими соединениями, содержащими ароматические фрагменты. В обоих концентратах присутствуют соединения с одинаковыми структурами, но отличаются по интенсивности полос поглощения, а значит и по содержанию. Сочетание оптических методов с другими физико-химическими методами анализа позволяет более точно установить индивидуальный состав или построить усредненную молекулу образца.

Органические вещества в изучаемых образцах воды были отнесены к соответствующим гомологическим рядам согласно классификации [20]. Всего в изученных водах термокарстовых озер установлено три гомологических ряда органических соединений. Наиболее распространенными являются алканы, метиловые эфиры высших кислот. Менее распространены ароматические углеводороды (фенантрены, метилфенантрены) (табл. 3).

Таблица 2. Спектральные ИК-коэффициенты хлороформных концентратов, полученных из вод термокарстовых озер

Table 2. Spectral IR-coefficients of the chloroformed concentrates received from waters of thermokarst lakes

Спектральные коэффициенты Spectral coefficients		Номер образца Number of sample	
		BZ-12	BZ-13
Условное содержание ароматических структур Conditional content of aromatic structures	D_{1610}/D_{1465}	0,702	0,208
Условное содержание парафиновых структур Conditional content of paraffin structures	D_{725}/D_{1465}	0,246	0,483
Условное содержание конденсированных ароматических структур Conditional content of condensed aromatic structures	D_{750}/D_{725}	1,615	0,619
Разветвленность парафиновых структур Branching of paraffin structures	D_{1380}/D_{720}	3,571	1,345
Сульфоксиды $-S=O$ Sulphoxide $-S=O$	D_{1030}/D_{1465}	0,711	0,250
Условное содержание $-C=O$ групп Conditional content of $-C=O$ groups	D_{1710}/D_{1465}	1,1315	0,608

Таблица 3. Структурно-групповой состав растворенных органических веществ в водах термокарстовых озер Большеземельской тундры

Table 3. Structural-group composition of dissolved organic matter in waters of thermokarst lakes of Bolshezemelskaya tundra

Название гомологического ряда Name of homological series	Количество соединений Number of compounds	Относительная распространенность, % Relative prevalence, %	
		BZ-12	BZ-13
Насыщенные углеводороды: Saturated hydrocarbons:			
n-алканы $C_{14}-C_{36}$ n-alkanes $C_{14}-C_{36}$	23	46,77	59,56
изоалканы $C_{19}-C_{20}$ isoalkanes $C_{19}-C_{20}$	2	23,19	0,84
Фенантрены, метилфенантрены Phenanthrenes, methylphenanthrenes	2	2,30	0,10
Метиловые эфиры высших кислот Methyl esters of higher acids	2	2,04	25,01

Как показали результаты хроматографического исследования, в изученных хлороформных концентратах органические соединения представлены углеводородами от 46,77 до 59,57 % отн., триароматическими соединениями от 0,1 до 2,3 % отн., группой кислородсодержащих соединений от 2,04 до 25,01 % отн.

Алканы (парафиновые углеводороды) являются наиболее распространенным органическим компонентом как в богатых органическими веществами болотных водах [21], так и в речных водах арктических районов [22]. Алканы используются в качестве геохимических маркеров генезиса органического вещества, поскольку преобладание тех или иных гомологов *n*-алканов отражает преимущественный вклад отдельных биопродукторов в формирование состава ОВ [23–25]. В настоящее время для парафинов установлено несколько источников образования: 1) *n*-алканы, синтезируемые в живых организмах; 2) высокомолекулярные одноатомные спирты, входящие в состав живого вещества; 3) высшие одноосновные предельные жирные кислоты [26]. Следует отметить, что механизм декарбоксилирования жирных кислот с образованием алканов на один атом углерода меньше является наиболее распространенным в природе. В обоих образцах озерных вод, исследуемых нами, алканы также являются доминирующими в составе РОВ и представлены насыщенными углеводородами нормального и изостроения (рис. 4).

В водах малого термокарстового озера BZ-12 *n*-алканы составляют около 47 % отн., среди которых представлены низкомолекулярные гомологи

C_{15} – C_{21} , характерные в основном для гидробионтов: простейших водорослей и фитопланктона. Доминирующим гомологом является C_{17} , характерный для водорослей [27]. Гомологические ряды C_{16} , C_{20} – C_{24} соответствуют бактериальной продукции [28]. Однако в данном образце наблюдается полное отсутствие *n*-алканов с количеством атомов С более 22 (рис. 5), что еще раз указывает на то, что генезис органических веществ данного озера связан с процессом жизнедеятельности бактерий и простейших водорослей.

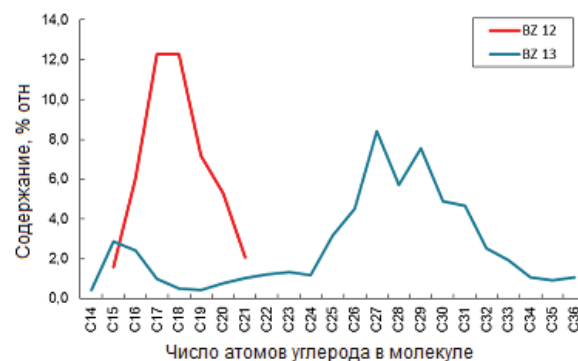


Рис. 5. Молекулярно-массовое распределение *n*-алканов в ХК исследуемых вод термокарстовых озер

Fig. 5. Molecular weight distribution of *n*-alkanes in the chloroformed concentrates received from waters of thermokarst lakes

В водах крупного озера BZ-13 содержание *n*-алканов увеличивается до 60 % отн. всех органических компонентов. При рассмотрении профиля ра-

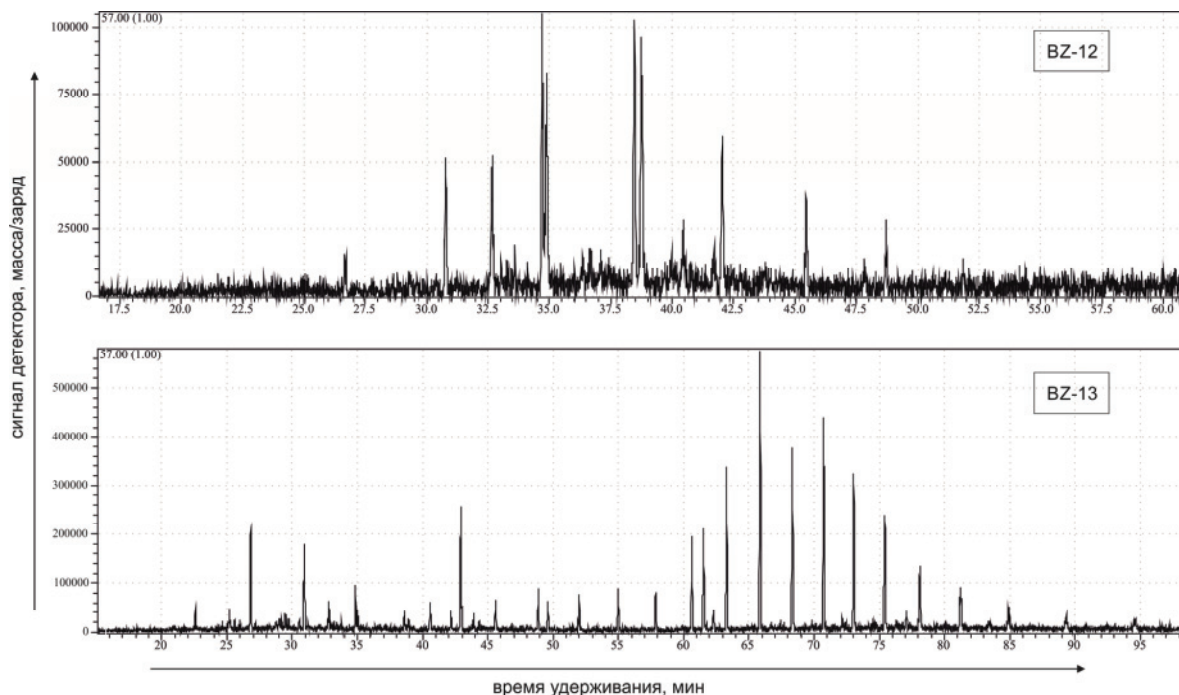


Рис. 4. Ионные хроматограммы *n*-алканов (m/z 57) термокарстовых озер BZ-12 и BZ-13 Большеземельской тундры

Fig. 4. Ion chromatograms of *n*-alkanes (m/z 57) of thermokarst lakes BZ-12 and BZ-13 of Bolshezemelskaya tundra

спределения углеводов в воде озера BZ-13 можно отметить бимодальный характер состава алканов с пиком на C_{15} , доминирующими являются высокомолекулярные гомологи $n-C_{27}$, $n-C_{29}$ и $n-C_{31}$ характерные для многих наземных растений, наличие n -алкана C_{31} свидетельствует о травянистых составляющих биомассы, n -алканы C_{27} соответствуют древесным разновидностям. В работе Г.М. Вилкинсон [29] также описано, что в северных районах США в озерах доминирующим источником ОВ являются высшие наземные растения. Относительно высокое содержание гомола C_{25} в воде озера BZ-13 указывает на существенный вклад в исходную биомассу прибрежно-морских водорослей и макрофитов [23, 24]. n -алканы с низкими молекулярными массами (менее C_{21}), которые характерны для фитопланктона, сине-зеленых водорослей и бактерий [30], присутствуют в незначительных концентрациях (рис. 5).

Одним из основных критериев, используемых при определении происхождения алканов в природных объектах, является индекс CPI (Carbon Preference Index), рассчитываемый как отношение суммы алканов с нечетным числом атомов углерода к сумме алканов четного ряда в высокомолекулярной области (C_{24} – C_{34}). CPI показывает долю алканов, образованных при деструкции высших растений [31, 32]. Значение CPI более единицы говорит о биогенном происхождении алканов, образованных за счет деятельности и деструкции высших растений. В нашем случае индекс CPI, который равен 1,36, был рассчитан только для озера BZ-13 (табл. 3). Большая часть алканов в водах озера BZ-13 могла быть образована именно за счет деятельности и деструкции высших растений. В водах озера BZ-12 наблюдаются только низкомолекулярные n -алканы, что, вероятно, связано с жизнедеятельностью бактерий. Так, в хемосинтезирующих бактериях обнаружены алканы (C_{12} – C_{31}) с примерно одинаковым числом четных и нечетных атомов углерода, что характерно для молодого развивающегося озера BZ-12. О присутствии серы в водах также свидетельствует спектральный ИК-коэффициент хлороформного концентрата, полученного из вод данного озера (табл. 2). Также были рассчитаны индексы нечетности OEP_{17} и OEP_{19} , показывающие преобладание нечетных УВ над ближайшими четными в низкомолекулярной области. Значения индексов ОЕР менее и более единицы говорят о доминирующем биогенном источнике ОВ [28], что также характерно для обоих образцов вод термокарстовых озер.

По результатам данных о составе n -алканов, выделенных из исследуемых вод, были рассчитаны коэффициенты для оценки вклада в состав ОВ бактерий, фитопланктона, водорослей, водных макрофитов или сфагновых мхов (P_{aq}) [24], наземных растений (TAR) [16, 33] (табл. 5). Значения полученных коэффициентов приведены в табл. 5.

Из рассчитанных нами данных установлено, что в водах малого озера BZ-12 РОВ образуют гете-

ротрофные бактерии, водоросли и фитопланктон. В более зрелом озере BZ-13 бактериальный вклад уменьшается, но увеличивается доля ОВ из водорослей и фитопланктона, доминирующим источником ОВ являются наземные высшие растения. Следовательно, в озерах Большеземельской тундры, при развитии их экосистем, наблюдается смена генезиса ОВ от автохтонного к аллохтонному. На территории Западной Сибири в северных заболоченных районах также развиты озера с высоким содержанием аллохтонного вещества [34].

Таблица 4. Распределение n -алканов в водах озер Большеземельской тундры

Table 4. Distribution of n -alkanes in waters of thermokarst lakes of Bolshezemelskaya tundra

№ пробы Sample no.	Продукция гидробионтов Production from hydrobionts $\Sigma n-C_{15}, C_{17}, C_{19}, \%$	Бактериальная продукция Bacterial product $\Sigma n-C_{16}, C_{20}-C_{24}, \%$	OEP_{17}	OEP_{19}	CPI
BZ-12	21,06	11,36	1,13	0,82	–
BZ-13	4,27	5,58	0,79	0,89	1,36

Примечание: «–» – критерий не рассчитан из-за отсутствия гомологов в пробе.

Note: «–» not calculated due to the lack of homologs in the sample.

Таблица 5. Коэффициенты оценки вклада различных биопродукторов в РОВ

Table 5. Coefficients of contribution of various sources in DOM

Коэффициент Coefficient	Источник РОВ Sources of DOM	BZ-12	BZ-13
C_{16}/C_{20}	Гетеротрофы Heterotrophs	1,147	3,227
C_{18}/C_{20}	Пурпурные бактерии Purple bacteria	2,318	0,680
C_{26}/C_{20}	Сульфатредуцирующие бактерии Sulfate-reducing bacteria	2,318	0,680
$(C_{15}+C_{17})/2C_{20}$	Фитопланктон Phytoplankton	1,312	2,543
$(C_{21}+C_{23}+C_{25})/3C_{20}$	Прибрежно-морские водоросли Coast marine algae	–	2,684
$(C_{27}+C_{29})/3C_{20}$	Наземные растения Terrestrial plants	–	7,088
$P_{aq}=(C_{23}+C_{25})/(C_{23}+C_{25}+C_{29}+C_{31})$	Водные макрофиты Water macrophytes	–	0,269
$TAR=(C_{31}+C_{29}+C_{27})/(C_{15}+C_{17}+C_{19})$	Отношение наземных и водных источников Terrigenous/aquatic ratio	–	4,832

Одним из важнейших параметров, характеризующих органическое вещество, является содержание в его составе изоалканов, в частности пристана (Pr) и фитана (Ph). Известно, что образование пристана и фитана тесно связано с фитолом, входящим в структуру хлорофилла – зеленого пигмента растений. Отношение Pr/Ph в составе органического вещества может быть показателем окислительно-вос-

становительных условий образования РОВ, так в восстановительных условиях образуется преимущественно фитан, а в окислительных – пристан [35]. Отношение Pr/Ph в пробе озера BZ-12 соответствует значению 0,83, что указывает на восстановительные условия осадконакопления, однако для пробы BZ-13 данное отношение равно 1,7, что характерно для окислительной среды. Значения содержаний пристана и фитана не сильно различаются между собой, что свидетельствует о глубокой преобразованности ОВ, об этом же свидетельствуют значения индексов ОЕР, стремящихся к единице.

Наряду с алканами в изученных водах озер установлено наличие кислородсодержащих соединений, представленных метиловыми эфирами жирных карбоновых кислот (2,04–25,01). Метиловые эфиры стеариновой и эйкозановой кислот широко продуцируются в биосфере, и, вероятно, их присутствие в изученных водах связано с деятельностью живых организмов и их деструкцией. Также широко развитые в тундровых ландшафтах болота обеспечивают дополнительное поступление ОВ, в том числе и кислородсодержащее, в озеро с поверхностным стоком.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 15-17-10009, гранта Президента РФ МК-4984.2016.5, а также при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы (проекта) № 0409-2015-0140

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирпотин С.Н. Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. – 2008. – № 311. – С. 185–189.
2. Effect of permafrost thawing on the organic carbon and metal speciation in thermokarst lakes of western Siberia / O.S. Pokrovsky, L.S. Shirokova, S.N. Kirpotin, S. Audry, J. Viers, B. Dupré // *Bio-geosciences*. – 2011. – V. 8. – P. 565–583.
3. Мажитова Г.Г., Каверин Д.А. Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркулярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России // *Криосфера Земли*. – 2007. – № 11 (4). – С. 20–30.
4. Даувальтер В.А., Хлопцева Е.В. Гидрологические и гидрохимические особенности озер Большеземельской тундры // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2008. – Т. 11. – № 3. – С. 407–414.
5. МУК 4.1. 663–97. Методические указания Определение массовой концентрации органических соединений в воде методом хромато-масс-спектрометрии. – М.: Министерство здравоохранения России, 1997. – 4 с.
6. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Изд-во Московского университета, 1985. – 376 с.
7. Impact of cyanobacterial associate and heterotrophic bacteria on dissolved organic carbon and metal in moss and peat leachate: application to permafrost thaw in aquatic environments / L.S. Shirokova, J. Labouret, M. Gurge, E. Gérard, I.S. Ivanova, S.A. Zabulina, O.S. Pokrovsky // *Aquatic Geochemistry*. – 2017. – V. 23. – № 95. – P. 1–28.
8. Растворенный органический углерод в термокарстовых озерах большеземельской тундры / Л.С. Широкова, И.С. Иванова,

Заключение

В результате проведенных исследований в водах термокарстовых озер Большеземельской тундры установлено 29 органических соединений, принадлежащих трем гомологическим рядам. Таким образом, растворенное органическое вещество в исследуемых водах состоит из сложных эфиров карбоновых кислот, углеводов алифатического и ароматического строения. Их присутствие связано, вероятно, с деятельностью живых организмов и процессом их деструкции.

Установлено, что в обоих образцах озерной воды присутствуют биогенные источники органических веществ. Так, в малом кислом озере BZ-12 среди источников ОВ доминируют гетеротрофные бактерии, водоросли. В более зрелом и менее кислом озере BZ-13 доминирующим источником ОВ являются высшие наземные растения. Доли вкладов в ОВ фитопланктона и водорослей несколько снижается, а вклад бактерий и водных макрофитов минимален. Соответственно, при развитии экосистемы озера происходит смена генезиса ОВ с автотонного на аллохтонное.

«Комплексные исследования биотических и абиотических компонентов водных экосистем водосборного бассейна Белого и юго-востока Баренцева морей».

- A.B. Чупаков, Р.М. Манасыпов, С.А. Забелина, О.С. Покровский // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах. Труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2017. – С. 289–293.
9. Heterotrophic bacterioplankton in thawed lakes of the northern part of Western Siberia controls the CO₂ flux to the atmosphere / L.S. Shirokova, O.S. Pokrovsky, S.N. Kirpotin, B. Dupre // *The International Journal of Environmental Studies*. – 2009. – № 66. – P. 433–445.
10. Thermokarst lakes waters across permafrost zones of Western Siberia / R.M. Manasyrov, O.S. Pokrovsky, S.N. Kirpotin, L.S. Shirokova // *The Cryosphere*. – 2014. – V. 8. – P. 1177–1193.
11. Zhanju Lin, Jing Luo, Fujun Niu. Development of a thermokarst lake and its thermal effects on permafrost over nearly 10 yr in the Beiluhe Basin, Qinghai-Tibet Plateau // *Geosphere*. – 2016. – V. 12 (2). – P. 632–643.
12. Dissolved organic carbon, CO₂, and CH₄ concentrations and their stable isotope ratios in thermokarst lakes on the Qinghai-Tibetan Plateau / C. Mu, T. Zhang, Q. Wu, X. Peng, P. Zhang, Y. Yang, Y., Hou X. Zhang, G. Cheng // *Journal of Limnology*. – 2016. – V. 75 (2). – P. 313–319.
13. Western Siberia wetlands as indicator and regulator of climate change on the global scale / S. Kirpotin, A. Berezin, V. Bazanov, Y. Polishchuk, S. Vorobiov, N. Mironycheva-Tokoreva, N. Kosykh, I. Volkova, B. Dupre, O. Pokrovsky, A. Kouraev, E. Zakharova, L. Shirokova, N. Mognard, S. Biancamaria, J. Viers, M. Kolmakova // *International Journal of Environmental Studies*. – 2009. – № 66. – P. 409–421.
14. Содержание и распределение биогенных элементов (азот, фосфор, кремний) в термокарстовых водных объектах большеземельской тундры / А.А. Чупакова (Ершова), А.В. Чупаков, Л.С. Широкова, С.А. Забелина // Органическое вещество и

- биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием. – Барнаул: Институт водных и экологических проблем СО РАН, 2017. – С. 269–273.
15. Структура бактериопланктона термокарстовых озёр болотоземельской тундры / С.А. Забелина, Л.С. Широкова, О.Д. Ковалев, А.В. Чупаков, А.А. Чупакова // Труды Института биологии внутренних вод РАН. – 2017. – № 79 (82). – С. 58–62.
16. A 220 ka palaeoenvironmental reconstruction of the Fuentillejo maar (Central Spain) using biomarker analysis / J.E. Ortiz, L. Moreno, T. Torres, J. Vegas, B. Ruiz-Zapata, A. Garcia-Cortes, L. Galan, A. Perez-Gonzalez // Organic Geochemistry. – 2013. – V. 55. – P. 85–97.
17. Состав и структура зоопланктона термокарстовых озер Болотоземельской тундры (Ненецкий автономный округ) / Е.И. Собоко, Р.М. Манасыпов, С.А. Забелина, А.В. Чупаков, А.А. Чупакова, Н.В. Шорина // Труды Института биологии внутренних вод РАН. – 2017. – № 79 (82). – С. 213–217.
18. Казыцына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. – М.: Высшая школа, 1971. – 264 с.
19. Глебовская Е.А. Применение инфракрасной спектроскопии в нефтяной геохимии. – М.: Недра, 1971. – 140 с.
20. Артеменко А.И. Органическая химия. 5-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2002. – 559 с.
21. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast / S.L. Shvartsev, M.A. Zdvizhkov, O.V. Serebrennikova, O.G. Savichev, O.S. Naimushina // Geochemistry International. – 2012. – V. 50. – № 4. – P. 367–380.
22. Origins and transformations of dissolved organic matter in large Arctic rivers / K. Kaiser, M. Canedo-Oropeza, R. McMahon, R. Amon // Scientific Reports. – 2017. – V. 7. – Article number: 13064.
23. Hunt J. Petroleum Geochemistry and Geology. 2nd revised edition. – New York: W.H. Freeman & Co Ltd., 1995. – 743 p.
24. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes / K.J. Ficken, B. Li, D.L. Swain, G. Eglinton // Organic Geochemistry. – 2000. – V. 31. – P. 745–749.
25. Precise indices based on n-alkane distribution for quantifying sources of sedimentary organic matter in coastal systems / N. Chevalier, N. Savoye, S. Dubois, M. Lama Lama, V. David, P. Lecroart, K. Ménach, H. Budzinski // Organic Geochemistry. – 2015. – V. 88. – P. 69–77.
26. Сваровская Н.А. Химия нефти и газа. – Томск: ТПУ, 2006. – 111 с.
27. Влияние источника и условий торфонакопления на индивидуальный состав битуминозных компонентов торфа на примере двух низинных болот Западной Сибири / О.В. Серебренникова, Е.Б. Стрельникова, Ю.И. Прейс, М.А. Дучко // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 3. – С. 80–91.
28. Потурай В.А. Органическое вещество в холодных подземных водах районов азотных терм Приамурья // Региональные проблемы. – 2016. – Т. 19. – № 4. – С. 59–66.
29. Wilkinson G.M., Pace M.L., Cole J.J. Terrestrial dominance of organic matter in north temperate lakes // Global Biogeochemical Cycles. – 2013. – V. 27. – P. 1–9.
30. Ogura K., Machilara T., Takada H. Diagenesis of biomarkers in Biwa lake sediments over 1 million years // Organic Geochemistry. – 1990. – V. 16. – P. 805–813.
31. Состав и особенности изменения со временем водорастворимого комплекса органических веществ нефтезагрязненной водной среды / М.Г. Кульков, Ю.В. Коржов, В.Ю. Артамонов, В.В. Углев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 193–199.
32. Simoneit B.R.T. A review of biomarker compounds as source indicators and tracers for air pollution // Environmental science and pollution research international. – 1999. – V. 6. – № 3. – P. 159–169.
33. Vertical distribution of organic compounds in the bottom sediments of two steppe lakes in southern Siberia / O.V. Serebrennikova, I.V. Russkikh, E.B. Strel'nikova, E.A. El'chaninova, P.B. Kadychagov // Water resources. – 2017. – V. 44. – № 5. – P. 774–783.
34. Формирование состава органических веществ в малых озерах Западной Сибири / Л.П. Паничева, Т.И. Моисеенко, Т.А. Коемлева, С.С. Волкова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. – 2015. – Т. 1. – № 1 (1). – С. 151–163.
35. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти и газа. – М.: Мир, 1981. – 501 с.

Поступила 23.11.2017 г.

Информация об авторах

Иванова И.С., кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории пресноводных и морских экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН; старший научный сотрудник лаборатории гидрогеохимии и геоэкологии Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Король И.С., кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории физико-химических исследований керна и пластовых флюидов Томского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; доцент отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Широкова Л.С., кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории пресноводных и морских экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН.

Покровский О.С., кандидат геолого-минералогических наук, директор по научно-исследовательской работе Лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы, Национальный центр научных исследований Франции; ведущий научный сотрудник лаборатории пресноводных и морских экосистем Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова РАН.

UDC 550.47

STRUCTURAL-GROUP COMPOSITION OF DISSOLVED ORGANIC MATTER IN WATERS OF THERMOKARST LAKES OF BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA

Irina S. Ivanova^{1,2},
IvanovaIS_1986@mail.ru

Irina S. Korol^{2,3},
irinakorol@yandex.ru

Lyudmila S. Shirokova¹,
lshirocova@yandex.ru

Oleg S. Pokrovsky^{4,1},
oleg.pokrovsky@get.omp.eu

¹ Institute of Ecological Problem of the North,
23, Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163000, Russia.

² Tomsk branch of the Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics
of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
4, Akademicheskoy avenue, Tomsk, 634055, Russia.

³ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

⁴ University of Toulouse,
14, Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

The relevance of the research is related to the intensive economic development of the Arctic part of the European North of Russia, which entails a sharp increase in anthropogenic pressure on vulnerable ecosystems of the Far North. At climate warming, melting of permafrost can provoke the formation of new thermokarst lakes and subsidence, which in its turn facilitates the removal of organic matter from peat into natural environments.

The main aim is to reveal the features of composition of dissolved organic matter and its possible sources in the waters of thermokarst lakes of the Bolshezemelskaya tundra (near Naryn-Mar), with different water-mirror areas and at different stages of evolution.

Methods. Analysis of the dissolved organic matter content in the waters of thermokarst lakes was carried out in the laboratory of geo-resources and the environment of Toulouse by the method of complete burning of dissolved organic carbon. In the laboratory of physicochemical methods of analysis of the Institute of Petroleum Chemistry of the SB RAS (Tomsk), by a three-step extraction at various pH the chloroformed concentrates were obtained. They contain dissolved organic matter. Organic structures were studied by Infrared spectroscopy. The structural-group composition of dissolved organic matter was determined by gas chromatography–mass spectrometry method.

Results. Organic compounds in the waters of thermokarst lakes of Bolshezemelskaya tundra are mainly represented by hydrocarbons of aliphatic structure, carboxylic acid esters and aromatic compounds belonging to three homologous series. It was found, that low-molecular n-alkanes predominate in the small acid lake BZ-12, the main sources are bacteria, lower plants (unicellular algae) and phytoplankton. In the more mature and less acidic lake BZ-13, the main contribution belongs to higher terrestrial plants and coast marine algae. Phytoplankton also plays an important role in enriching water with dissolved organic matter. Accordingly, with evolution of the lake ecosystem during recycling of a layer of peat sediments, the organic matters in waters are changed from the autochthonous to the allochthonous.

Key words:

Bolshezemelskaya tundra, thermokarst lakes, dissolved organic matter, carbon, alkanes.

The research was supported by the Russian Science Foundation, projects No. 15–17–10009 and by the grant of the President of the Russian Federation MK-4984.2016.5, as well as with the financial support of the FASO Russia within the framework of the project No. 0409–2015–0140 «Complex researches of biotic and abiotic components of aquatic ecosystems in the catchment area of the White sea and southeast of the Barents Sea».

REFERENCES

1. Kirpotin S.N., Polishchuk Yu.M., Bryksina N.A. Thermokarst lakes square dynamics of West Siberian continuous and discontinuous permafrost under impact of global warming. *Vestnik Tomsk State University*, 2008, no. 311, pp. 185–189. In Rus.
2. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Kirpotin S.N., Audry S., Viers J., Dupré B. Effect of permafrost thawing on the organic carbon and metal speciation in thermokarst lakes of western Siberia. *Biogeosciences*, 2011, vol. 8. pp. 565–583.
3. Mazhitova G.G., Kaverin D.A. Dynamics of the depth of seasonal thawing and sedimentation of the soil surface at the circumpolar monitoring of the active layer (CALM) in the European part of Russia. *Cryosphere of the Earth*, 2007, no. 11 (4), pp. 20–30. In Rus.

4. Dauvalter V.A., Khloptseva E.V. Hydrological and hydrochemical features of lakes of Bolshezemelskaya tundra. *Bulletin of Murmansk State Technical University*, 2008, vol. 11, no. 3, pp. 407–414. In Rus.
5. MUK 4.1. 663–97. «Metodicheskiye ukazaniya. Opreделение massovoy kontsentratsii organicheskikh soedineniy v vode metodom khromato-mass-spektrometrii» [MUK 4.1. 663–97. Methodical instructions. Determination of the mass concentration of organic compounds in water by chromatography-mass spectrometry]. Moscow, Ministry of Health of Russia, 1997. 4 p.
6. Orlov D.S. *Khimiya pochvy* [Chemistry of soils]. Moscow, Moscow University Publ. house, 1985. 376 p.
7. Shirokova L.S., Labouret J., Gurge M., Gérard E., Ivanova I.S., Zabelina S.A., Pokrovsky O.S. Impact of cyanobacterial associate and heterotrophic bacteria on dissolved organic carbon and metal in moss and peat leachate: application to permafrost thaw in aquatic environments. *Aquatic Geochemistry*, 2017, vol. 23, Iss. 95, pp. 1–28.
8. Shirokova L.S., Ivanova I.S., Chupakov A.V., Manasyrov R.M., Zabelina S.A., Pokrovsky O.S. Rastvorenniy organicheskiy uglevod v termokarstovykh ozerakh Bolshezemelskoy tundry [Dissolved organic carbon in thermokarst lakes of Bolshezemelskaya tundra]. *Organicheskoe veshchestvo i biogennyye elementy vo vnutrennikh vodoyemakh i morskikh vodakh. Trudy VI Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem* [Organic matter and biogenic elements in inland waters and sea waters. Procedia of the VI All-Russian Symposium with International Participation]. Barnaul, IWEP SB RAS, 2017. pp. 289–293.
9. Shirokova L.S., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N. and Dupre B. Heterotrophic bacterioplankton in thawed lakes of the northern part of Western Siberia controls the CO₂ flux to the atmosphere. *The International Journal of Environmental Studies*, 2009, vol. 66, pp. 433–445.
10. Manasyrov R.M., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N., Shirokova L.S. Thermokarst lakes waters across permafrost zones of Western Siberia. *The Cryosphere*, 2014, vol. 8, pp. 1177–1193.
11. Zhanju Lin, Jing Luo, Fujun Niu. Development of a thermokarst lake and its thermal effects on permafrost over nearly 10 yr in the Beiluhe Basin, Qinghai-Tibet Plateau. *Geosphere*, 2016, vol. 12, Iss. 2, pp. 632–643.
12. Mu C., Zhang T., Wu Q., Peng X., Zhang P., Yang Y., Hou Y., Zhang X., Cheng G. Dissolved organic carbon, CO₂, and CH₄ concentrations and their stable isotope ratios in thermokarst lakes on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Limnology*, 2016, vol. 75, Iss. 2, pp. 313–319.
13. Kirpotin S., Berezin A., Bazanov V., Polishchuk Y., Vorobiov S., Mironycheva-Tokoreva N., Kosykh N., Volkova I., Dupre B., Pokrovsky O., Kouraev A., Zakharova E., Shirokova L., Mognard N., Biancamaria S., Viers J., Kolmakova M. Western Siberia wetlands as indicator and regulator of climate change on the global scale. *International Journal of Environmental Studies*, 2009, no. 66, pp. 409–421.
14. Chupakova (Ershova) A.A., Chupakov A.V., Shirokova L.S., Zabelina S.A. Soderzhanie i raspredelenie biogennykh elementov (azot, fosfor, kremniy) v termokarstovykh vodnykh ob'yektakh Bolshezemelskoy tundry [Content and distribution of biogenic elements (nitrogen, phosphorus, silicon) in thermokarst water bodies of Bolshezemelskaya tundra]. *Organicheskoe veshchestvo i biogennyye elementy vo vnutrennikh vodoyemakh i morskikh vodakh. Trudy VI Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiyem* [Organic matter and biogenic elements in inland waters and sea waters. Procedia of the VI All-Russian Symposium with International Participation]. Barnaul, IWEP SB RAS, 2017. pp. 269–273.
15. Zabelina S.A., Shirokova L.S., Kovalev O.D., Chupakov A.V., Chupakova A.A. Structure of bacterioplankton of thermokarst lakes of the Bolshezemelskaya tundra. *Transactions of Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences*, 2017, Iss. 79 (82), pp. 58–62. In Rus.
16. Ogura K., Machilara T., Takada H. Diagenesis of biomarkers in Biwa lake sediments over 1 million years. *Organic Geochemistry*, 1990, vol. 16, pp. 805–813.
17. Sobko E.I., Manasyrov R.M., Zabelina S.A., Chupakov A.V., Chupakova A.A., Shorina N.V. Composition and structure of zooplankton in thermokarst lakes of Bolshezemelskaya tundra (Nenets autonomous area, Russia). *Transactions of Institute of Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences*, 2017, Iss. 79 (82), pp. 213–217. In Rus.
18. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. *Primeneniye UF-, IR- i YAMR-spektroskopii v organicheskoy khimii* [Application of UV, IR and NMR spectroscopy in organic chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1971. 264 p.
19. Glebovskaya E.A. *Primenenie infrakrasnoy spektrometrii v neftyanoy geokhimii* [Application of infrared spectrometry in petroleum geochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 140 p.
20. Artemenko A.I. *Organicheskaya khimiya* [Organic Chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2002. 559 p.
21. Shvartsev S.L., Zdvizhkov M.A., Serebrennikova O.V., Savichev O.G., Naimushina O.S. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast. *Geochemistry International*, 2012, vol. 50, no. 4, pp. 367–380.
22. Kaiser K., Canedo-Oropeza M., McMahon R., Amon R. Origins and transformations of dissolved organic matter in large Arctic rivers. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, article number: 13064.
23. Hunt J. *Petroleum Geochemistry and Geology*. 2nd revised ed. New York, W.H. Freeman & Co Ltd., 1995. 743 p.
24. Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*, 2000, vol. 31, pp. 745–749.
25. Chevalier N., Savoye N., Dubois S., Lama Lama M., David V., Lacroix P., Ménach K., Budzinski H. Precise indices based on n-alkane distribution for quantifying sources of sedimentary organic matter in coastal systems. *Organic Geochemistry*, 2011, vol. 88, pp. 69–77.
26. Svarovskaya N.A. *Khimiya nefti i gaza* [Chemistry of oil and gas]. Tomsk, TPU Publ. house, 2006. 111 p.
27. Serebrennikova O.V., Strelnikova E.B., Preis Yu.I., Duchko M.A. Influence of source and condition of peat accumulation on composition of peat bitumen from two fen mires of Western Siberia. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Chemistry and chemical technology*, 2014, vol. 325, no. 3, pp. 80–91. In Rus.
28. Poturay V.A. Organic matter in underground waters of the Amur Region geothermal fields. *Regional problems*, 2016, vol. 19, no. 4, pp. 59–66. In Rus.
29. Wilkinson G.M., Pace M.L., Cole J.J. Terrestrial dominance of organic matter in north temperate lakes. *Global Biogeochemical Cycles*, 2013, vol. 27, pp. 1–9.
30. Kulkov M.G., Korzhov Yu.V., Artamonov V.Yu., Uglev V.V. Structure and features of changing in time of organic substance water-soluble complex in oil polluted water environment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 320, no. 1, pp. 193–199. In Rus.
31. Simoneit B.R.T. A review of biomarker compounds as source indicators and tracers for air pollution. *Environmental science and pollution research international*, 1999, vol. 6, no. 3, pp. 159–169.
32. Ortiz J.E., Moreno L., Torres T., Vegas J., Ruiz-Zapata B., Garcia-Cortes A., Galan L., Perez-Gonzalez A. A 220 ka palaeoenvironmental reconstruction of the Fuentillejo maar (Central Spain) using biomarker analysis. *Organic Geochemistry*, 2013, vol. 55, pp. 85–97.
33. Serebrennikova O.V., Russkikh I.V., Strelnikova E.B., El'chaninova E.A., Kadychagov P.B. Vertical distribution of organic compounds in the bottom sediments of two steppe lakes in southern Siberia. *Water resources*, 2017, vol. 44, no. 5, pp. 774–783.

34. Panicheva L.P., Moiseenko T.I., Kremleva T.A., Volkova S.S. Formation of the composition of organic substances in small lakes of Western Siberia. *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management*, 2015, vol. 1, no. 1 (1), pp. 151–163. In Rus.
35. Tissot B., Welte D. *Obrazovanie i rasprostranenie nefi i gaza* [Formation and propagation of oil and gas]. Moscow, Mir Publ., 1981. 501 p.

Received: 23 November 2017.

Information about the authors

Irina S. Ivanova, Cand. Sc., senior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Institute of Ecological Problem of the North; senior researcher, Tomsk branch of the Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences.

Irina S. Korol, Cand. Sc., researcher, Tomsk branch of the Trofimuk institute of petroleum geology and geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

Lyudmila S. Shirokova, Cand. Sc., leading researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Institute of Ecological Problem of the North.

Oleg S. Pokrovsky, Cand. Sc., research director, GET (Geosciences and Environment Toulouse) UMR 5563, CNRS, University of Toulouse; leading researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Institute of Ecological Problem of the North.