

УДК 543.3: 543.635

DOI: 10.15372/KhUR20190110

Сезонная динамика распределения органических соединений в болотных водах южной тайги (Западная Сибирь)

О. В. СЕРЕБРЕННИКОВА^{1,2}, Е. Б. СТРЕЛЬНИКОВА¹, И. В. РУССКИХ¹, Ю. А. ХАРАНЖЕВСКАЯ^{3,4}, Е. С. ВОИСТИНОВА³

¹Институт химии нефти Сибирского отделения РАН,
Томск (Россия)

E-mail: rus@ipc.tsc.ru

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Томск (Россия)

³Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал СФНЦА РАН,
Томск (Россия)

⁴Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск (Россия)

Аннотация

Методом хромато-масс-спектрометрии изучены содержание и химический состав органических жирорастворимых компонентов (липидов) снегового покрова, торфа и вод верхового участка, типичного для южной тайги Бакчарского болота (северо-восточные отроги Большого Васюганского болота). Показано, что состав липидов болотных вод подвержен сезонным колебаниям и формируется за счет соединений, образовавшихся в торфяной залежи и попадающих с атмосферными осадками, а также компонентов болотных растений. Содержание липидов в воде связано с динамикой уровня болотных вод, количеством выпавших атмосферных осадков и температурой воздуха. В начале весны количество липидных компонентов в болотных водах максимальное, их состав практически идентичен торфяным соединениям. При разбавлении воды тающим снегом содержание липидов снижается, при этом в снегу увеличивается доля основных групп липидов: *n*-алканов и *n*-альдегидов, а также циклических моно- и сесквитерпеноидов, присутствующих в болотных растениях раннего вегетационного периода. Повышение температуры воздуха и низкое количество атмосферных осадков приводят к росту в воде доли липидов, продуцируемых водными растениями, и соединений, входящих в состав смолы хвойных пород (дегидроабиетиновая кислота и ее производные). С увеличением количества дождевых осадков в воде снижается разнообразие состава и содержание липидов, при этом преобладают *n*-алканы C_{25} и C_{27} , а также карбоновые кислоты. Снижение количества атмосферных осадков в конце лета сопровождается ростом содержания в болотной воде тритерпеноидов, стероидов, длинноцепочечных эфиров карбоновых кислот и токоферола. Кроме того, появляются характерные для березы бетулин и его производные, а также насыщенные нефтяные гопаны, попавшие в воду в результате проведения в августе технических работ на исследованном участке. Через месяц, в сентябре воды очищаются от продуктов антропогенной деятельности, резко повышается содержание биологических тритерпеноидов, а среди них – α - и β -амиринов, которыми обогащены брусника и клюква.

Ключевые слова: болотные воды, южная тайга Западной Сибири, органическое вещество, химический состав, сезонная динамика

ВВЕДЕНИЕ

Проблема качества природных вод в Западной Сибири стоит особенно остро из-за широкого распространения болот. С одной стороны, болотные массивы аккумулируют многие загряз-

няющие вещества, поступающие из атмосферы, и вопрос дальнейшей их миграции с болотными водами до сих пор слабо изучен. С другой стороны, в силу специфики условий формирования химического состава болотных вод, который находится в тесной взаимосвязи с процес-

сами трансформации растительных остатков и накоплением торфа, в естественных условиях они содержат целый ряд специфических компонентов. Известно, что основу торфа составляют растительные остатки твердых полимеров целлюлозной природы и продукты их распада, находящиеся в равновесии с водным раствором низко- и высокомолекулярных веществ [1]. Входящие в состав органического вещества (ОВ) соединения (алканы, стероиды, терпеноиды, токоферолы и др.) являются биомаркерами и позволяют фиксировать условия торфонакопления, региональные изменения климата и экологическое состояние окружающей среды [2, 3]. Источником ОВ болотных вод могут служить остатки современных болотных растений, находящиеся на начальной стадии гумификации, торф, а также техногенные продукты, попадающие в воды из близкорасположенных и доставляемых воздушными массами источников антропогенного воздействия. Кроме того, в течение года могут происходить сезонные колебания состава и содержания ОВ, связанные с таянием снежного покрова, выпадением атмосферных осадков, цветением растений. Источником ОВ болотных вод может быть несколько, поэтому представляет научный интерес изучение влияния каждого из них на состав и содержание в водах индивидуальных компонентов.

Целью работы было определение влияния источников и их сезонной изменчивости на содержание ОВ и его химический состав в болотных водах на примере верхового участка Бакчарского болота, типичного для территории южной тайги.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сосново-кустарничково-сфагновое верховое Бакчарское болото (северо-восточные отроги Большого Васюганского болота) расположено в междуречье рек Бакчар и Икса, в границах Томской обл., в 200 км на северо-запад от Томска (стационар “Васюганский” СибНИИСХиТ – филиал СФНЦА РАН). Древесный ярус на участке отбора проб представлен сосной (проективное покрытие 40 %, сомкнутость крон 0.4, высота до 2 м, диаметр до 1.5 см). Травяно-кустарничковый ярус включает багульник *Ledum palustre* (проективное покрытие 30 %), кассандру *Chamaedaphne calyculata* (60 %), андромеду *Andromeda polifolia* (5 %), голубику *Vaccinium uliginosum* (10 %), пушицу *Eriophorum vaginatum* (5 %), единично морошку *Rubus chamaemorus* и клюкву *Oxycoccus microcarpus*. Среди мхов выделяются сфагновые (95–100 %), из них 80 % составляет *Sphagnum*

fuscum, присутствуют также *Sphagnum magellanicum* и *Sphagnum angustifolium*. Высота кочек составляет 20 см.

Торфяная залежь на глубинах 0–30 см и 30–60 см представлена верховым фускум-торфом (*Sphagnum fuscum* – 85 %, *Sphagnum angustifolium* – 5 %, *Sphagnum magellanicum* – 5 %, ерниковые кустарнички – 5 %) со степенью разложения 5 %.

Отбор проб осуществляли в 2016 г. из скважины в торфяной залежи глубиной около 1 м. Пробы воды с этой глубины брали ежемесячно в период с марта по сентябрь в специально подготовленную стеклянную посуду в соответствии с [4]. Образец торфа был отобран из смежной скважины в конце лета с глубины 30–50 см. Образцы снега извлекали на всю глубину снежного покрова в 5 точках на расстоянии 1–2 м друг от друга.

Все этапы исследования, связанные с отбором проб торфа, снега и болотных вод, их хранением до начала пробоподготовки и собственно аналитические работы проводились по единой методике. Законсервированные хлороформом/четырёххлористым углеродом образцы вод и талого снега помещали в стеклянные емкости и транспортировали в химическую лабораторию ИХН СО РАН (Томск). Максимальное время от отбора проб до начала пробоподготовки составляло 3 сут. Торф после доставки в лабораторию высушивали.

Определение массовой концентрации углеводородов (УВ) как природного, так и техногенного происхождения в болотных водах проводили на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 5700 (разрешение 4 см^{-1} , число сканов пробы – 64) в диапазоне $3100\text{--}2700\text{ см}^{-1}$, в кюветах из CaF_2 с толщиной поглощающего слоя 10 мм. Экстракцию УВ из воды после отделения ее от взвешенных компонентов фильтрованием осуществляли четыреххлористым углеродом по методике [5].

Жирорастворимые компоненты (липиды) из профильтрованной водной фазы экстрагировали 10 %-м раствором гексана в хлороформе при комнатной температуре тремя порциями по 20 мл. Время экстракции 5 мин. Порции экстрактов объединяли, высушивали над безводным Na_2SO_4 и упаривали на ротаторном испарителе. Липиды из торфа экстрагировали парами 7 %-го раствора метанола в хлороформе. Анализ компонентного состава органических соединений проводили на магнитном хромато-масс-спектрометре DFS фирмы Thermo Scientific (Германия), предоставленном центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН. Условия проведения анализа приведены в работе [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения содержания органических соединений (ОС) методом ИК-спектроскопии и суммы идентифицированных соединений (ИС) в водах верхового болота с марта по сентябрь 2016 г., приведенные на рис. 1, показали схожую сезонную динамику.

Концентрации ОС и ИС меняются в широком интервале – 1.03–0.05 и 0.133–0.003 мг/дм³ соответственно. Наблюдаемый характер распределения зависит от количества выпавших в 2016 г. атмосферных осадков с учетом дополнительного вклада растаявшего в апреле снега (по данным метеостанции у с. Бакчар, ВНИИГМИ-МЦД [7]).

Максимальные значения зафиксированы в пробе воды, отобранной в марте, когда болото еще покрыто снегом (высота снегового покрова на месте отбора проб составила 56 см). Снижение концентрации ОС начинается в апреле-мае за счет разбавления болотных вод интенсивно тающим снежным покровом, а затем жидкими атмосферными осадками (45.1 и 20.7 мм). Содержание липидов резко возрастает в июне (28.5 мм), снижается при увеличении количества осадков в июле-августе (165.3 и 61.8 мм, соответственно) и вновь несколько увеличивается в сентябре (31.1 мм).

Липиды вод верхового болота, как и торф контактирующей с ними залежи, представляют собой сложную смесь соединений ациклического и циклического строения. В составе первой группы идентифицированы углеводороды (УВ), включающие алканы (Алк) и сквален (Скв), а

также кислородсодержащие ОС, представленные жирными кислотами (ЖК), их метиловыми, изопропиловыми (Э) и длинноцепочечными эфирами (ДЦЭ), альдегидами (Алд) и кетонами (Кет), а также фитолом – изопреноидным спиртом. Циклические соединения включают ароматические УВ, токоферолы (ТФ, витамин Е), стероиды (С), сескви-, ди- и тритерпеноиды (бициклические (БЦТ), трициклические (ТЦТ), пентациклические (ПЦТ)).

Групповой состав липидов вод, отобранных в **марте**, когда большая часть болота еще покрыта снегом, практически идентичен составу липидов торфа (рис. 2). Среди них преобладают пентациклические тритерпеноиды (ПЦТ) с доминированием тараксерена (рис. 3, структура I) и его спирт-, кето- и ацетатзамещенные производные. Спирты, кетоны и УВ, входящие в состав ПЦТ, присутствуют в близких концентрациях.

Содержание остальных компонентов липидов существенно ниже. В следовых количествах присутствуют метиловые и изопропиловые эфиры *n*-карбоновых кислот, бициклические сесквитерпеноиды, представленные преимущественно калакоренами, α -мууроленом и β -кадином (структуры II–IV, см. рис. 3). В составе *n*-алканов C₁₅–C₃₃ преобладают гомологи C₂₃–C₃₃ с нечетным числом атомов углерода, а среди них – C₃₁. В наборе длинноцепочечных эфиров (C₂₆–C₃₂) основными являются C₂₆–C₂₈, представленные значительным числом изомеров, состоящих из *n*-, *изо*- и *антеизо*-алифатических остатков кислот и спиртов. В составе C₂₁–C₃₁ *n*-алкан-2-онов, как и *n*-алканов, преобладают нечетные гомологи, но

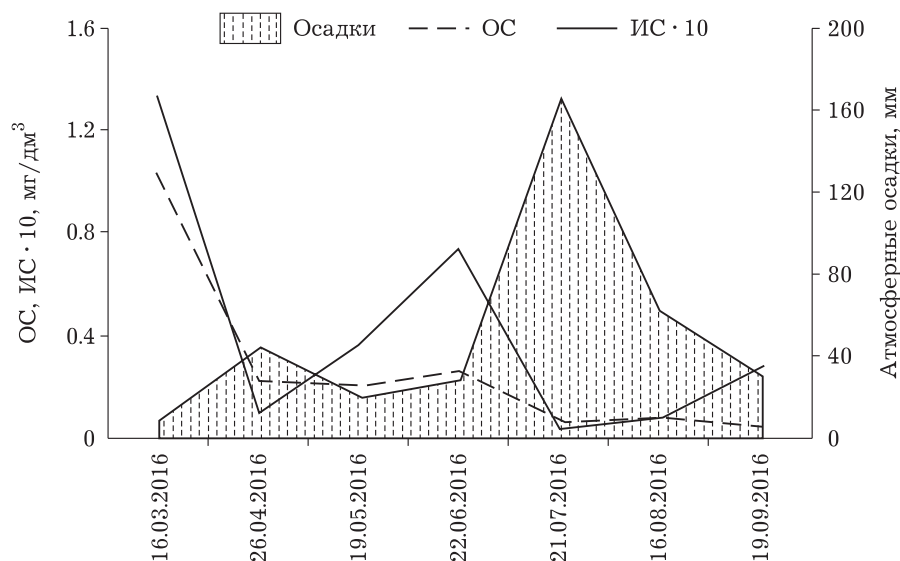


Рис. 1. Динамика содержания органических соединений (ОС), идентифицированных соединений (ИС) в водах верхового болота с учетом количества атмосферных осадков в период с марта по сентябрь 2016 г.

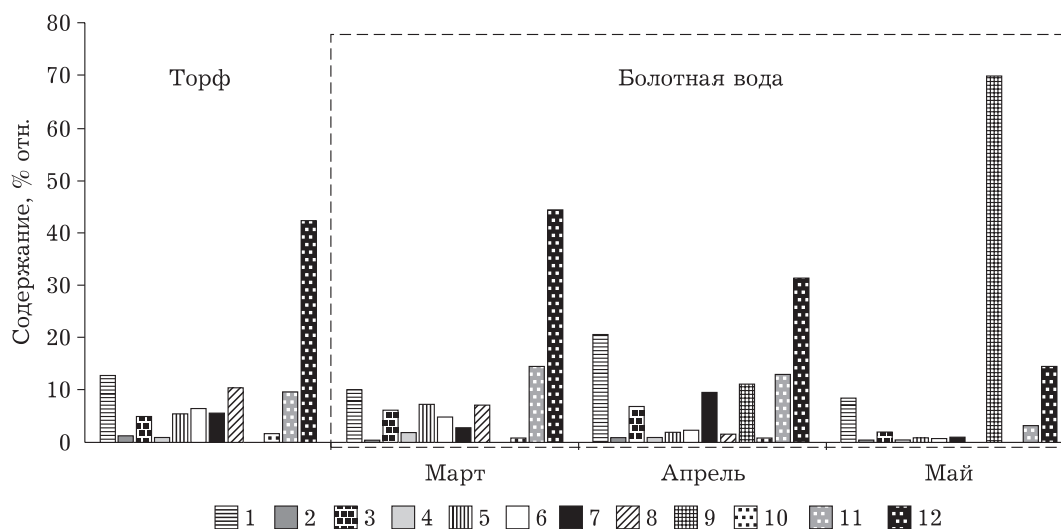


Рис. 2. Относительное содержание основных групп липидов в торфе и болотных водах, отобранных в весенние месяцы. Здесь и на рис. 4, 5: 1 – алканы (Алк), 2 – сквален (Скв), 3 – жирные кислоты (ЖК), 4 – метиловые и изопропиловые эфиры (Э), 5 – длинноцепочечные эфиры (ДЦЭ), 6 – кетоны (Кет), 7 – альдегиды (Алд), 8 – токоферолы (ТФ), 9 – бициклические терпеноиды (БЦТ), 10 – трициклические терпеноиды (ТЦТ), 11 – стероиды (С), 12 – пентациклические терпеноиды (ПЦТ).

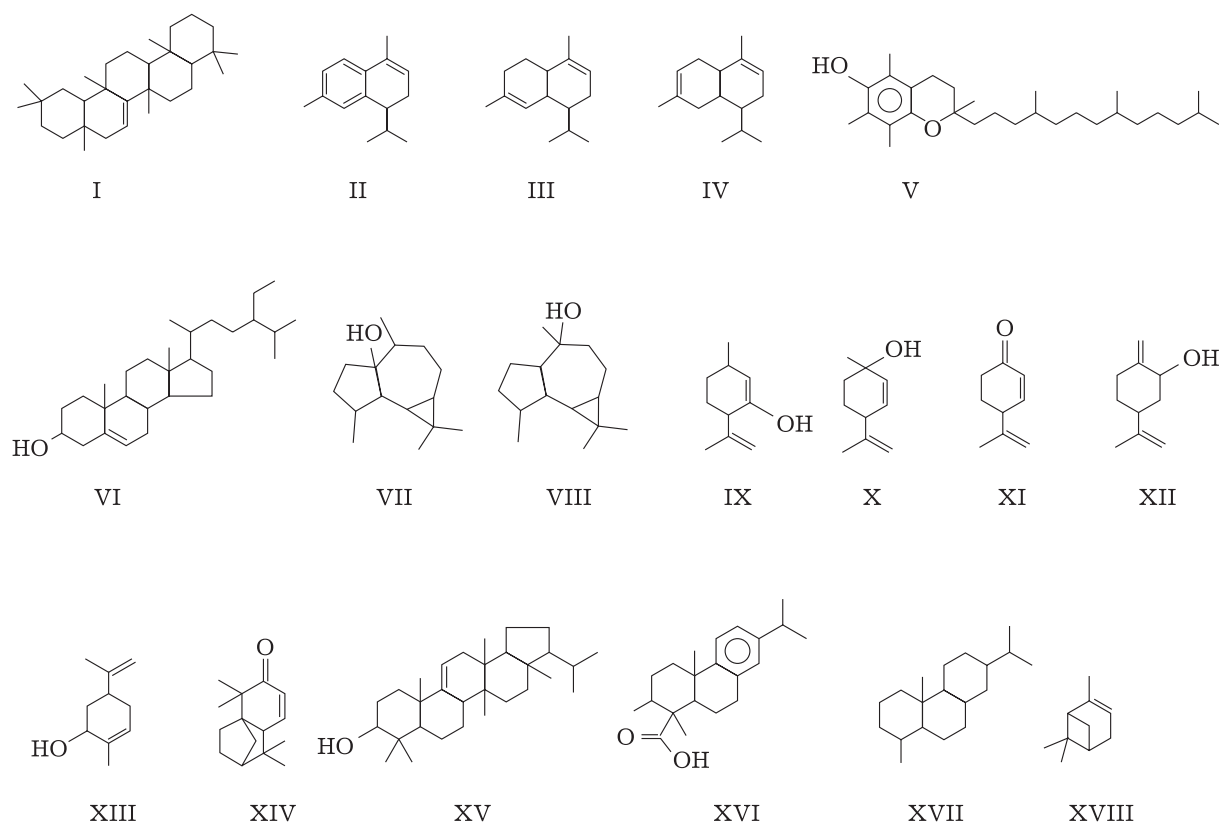


Рис. 3. Структуры основных представителей циклических соединений, идентифицированных в торфе и/или в болотных водах: I – тараксерен, II – α -калакорен, III – α -мууролен, IV – β -кадинен, V – α -токоферол, VI – ситостерол, VII – палюстрол, VIII – ледол, IX – *транс*-*p*-мента-2,8-диенол, X – 4-изопропенил-1-метил-2-циклогексен-1-ол, XI – 4-изопропенил-циклогексанон, XII – 2-метил-5-(1-метилэтилен)-циклогексанол, XIII – *p*-мента-6,8-диен-2-ол, XIV – 2,2,7,7-тетрамилтрицикло[6.2.1.0(1,6)]ундец-4-ен-3-он, XV – ферн-7-ен-3-ол, XVI – дегидроабетиновая кислота, XVII – 18-норабетан, XVIII – пинен.

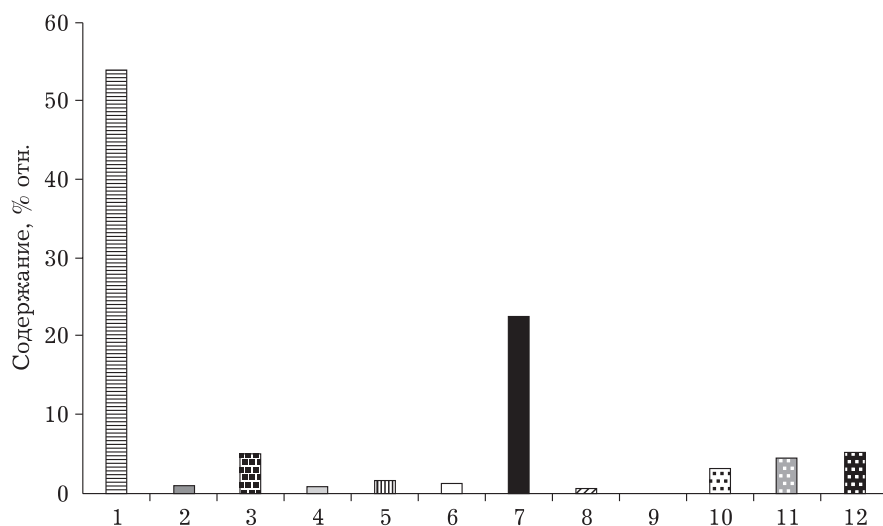


Рис. 4. Относительное содержание основных групп липидов в снеговом покрове Бакчарского болота. Обозн. см. рис. 2.

максимум в их распределении приходится на C_{27} . В молекулярно-массовом распределении *n*-альдегидов нечетные гомологи присутствуют в подчиненном количестве, а основными соединениями являются C_{24} и C_{26} . Токоферолы включают α -, β -, γ - и δ -формы, из них около 70 % представлено α -токоферолом (структура V, см. рис. 3). Среди стероидов преобладает ситостерол (структура VI, см. рис. 3).

В апреле повышение уровня болотных вод (–3 см) при таянии снегового покрова и оттаивании торфяной залежи сопровождается резким снижением в водах общего содержания липидов, повышением среди них доли *n*-алканов и *n*-альдегидов, являющихся основными группами липидов в снегу (рис. 4). В составе *n*-алканов ряда C_{23} – C_{33} несколько выше по сравнению с мартом относительное количество гомологов C_{25} и C_{27} , резко преобладающих среди *n*-алканов снегового покрова. В составе ПЦТ понижено относительное содержание тараксеренов, которые присутствуют в снегу в относительно низкой концентрации. Доминируют α - и β -амирины и в целом спирты. В составе стероидов апрельских вод повышено относительное содержание холестерина, присущего животным формам и продуктам их жизнедеятельности и являющегося основным стероидом в составе липидов снегового покрова. Высокое содержание в снегу альдегидов и холестерина указывает на вероятное загрязнение снегового покрова экскрементами животных, накопившимися в нем в течение длительного зимнего периода [8, 9].

Начало вегетационного периода болотных растений отражается в появлении в болотных водах в апреле ощутимого количества бициклических сесквитерпеноидов палюстрола и ледола (структуры VII и VIII, см. рис. 3), отсутствующих

в торфе и водах в марте. Эти летучие соединения составляют до 70 % эфирного масла побегов багульника [10], который широко распространен на исследованном болоте и представляет на нем 30 % травяно-кустарничкового яруса.

Таким образом, если состав ОС в водах в марте сформирован преимущественно за счет липидов, образовавшихся в торфяной залежи болота, в апреле в состав болотных вод, разбавляемых тальными водами, значительный вклад вносят также компоненты, привнесенные атмосферными осадками и продуктами жизнедеятельности животных. Кроме этих двух источников, пробуждение в апреле болотных растений приводит к попаданию в болотные воды выделяемых ими липидных компонентов.

В мае, с началом цветения багульника в составе органических соединений резко возрастает доля БЦТ, на 99 % представленных палюстролом и леделом. В этот период при снижении уровня болотных вод до –11 см относительно средней поверхности болота в воде появляются моноциклические терпены – структурные аналоги ментола и ментона с одной и двумя ненасыщенными связями (структуры IX–XIII, см. рис. 3). Суммарное содержание этих соединений близко по величине к концентрации ПЦТ. В воде мая, в отличие от марта и апреля, наряду с моно- и бициклическими структурами зафиксировано незначительное количество трициклического 2,2,7,7-тетраметилтрицикло[6.2.1.0(1,6)]ундец-4-ен-3-она (структура XIV, см. рис. 3) и пентациклического ферн-7-ен-3-ола (структура XV, см. рис. 3), присутствующих, как было показано в работах [11, 12], в растениях семейства сложноцветных.

В июне разбавление болотных вод атмосферными осадками было минимальным, а средняя

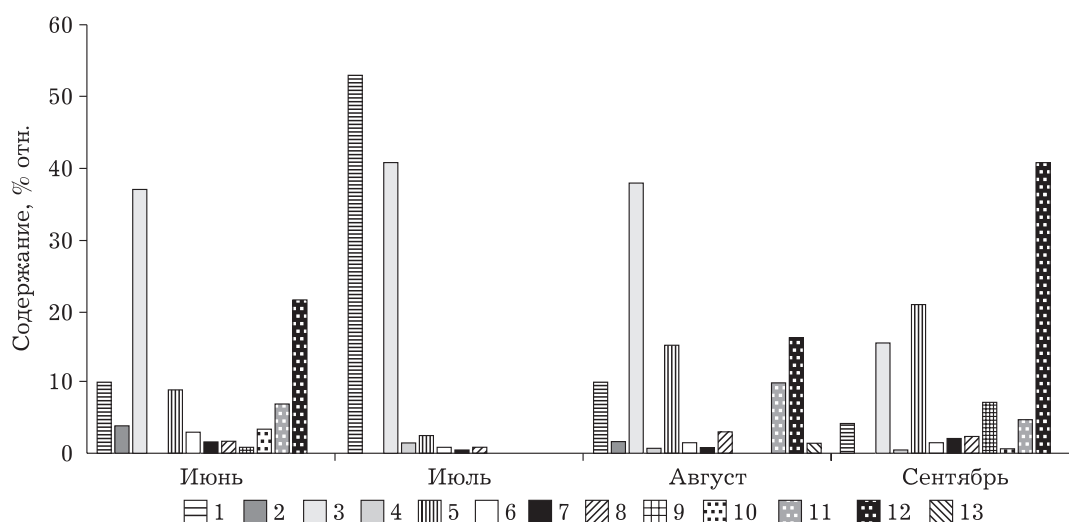


Рис. 5. Относительное содержание основных групп липидов в болотных водах в летний период. Обозн. см. рис. 2.

температура за прошедший период (с предыдущего отбора пробы воды) увеличилась с 5.8 до 16.3 °С. Уровень болотных вод понизился до -27 см, в составе органических соединений (на фоне увеличения общего содержания липидов) резко выросла доля карбоновых кислот, их длинноцепочечных эфиров и сквалена (рис. 5), исчезли легколетучие моноциклические терпеноиды, палюстрол, ледол и трициклический 2,2,7,7-тетраметилтрицикло[6.2.1.0(1,6)]ундец-4-ен-3-он.

По сравнению с весенним периодом в июньских водах почти в 30 раз возросло содержание характерных для смолы хвойных растений ТЦТ, представленных дегидроабетиновой кислотой (структура XVI, см. рис. 3) и ее производными, среди которых в максимальной концентрации присутствует 18-норабиетан (структура XVII, см. рис. 3). Появился пинен (структура XVIII, см. рис. 3) – основной компонент соснового масла. Это совпадает с началом роста в июне сосновой хвои [13].

В отличие от обычно наблюдаемого преобладания среди кислот болотных растений и торфа пальмитиновой (C_{16}), миристиновой (C_{14}) и стеариновой (C_{18}) кислот [14, 3], доминирующих также среди кислот в весенних водах. В июне их суммарное содержание не превышает концентрации каприновой (C_{10}) кислоты. В составе алканов возросло относительное содержание гомолога C_{23} , продуцируемого растениями, в остальном молекулярно-массовое распределение *n*-алканов практически не изменилось.

В составе БЦТ вод в июне, как в торфе, так и в воде марта, преобладают калакорены, β -кадинен и α -мууролон, но дополнительно появляется τ -мууролол – продукт окисления α -мууролена [15]. Относительное содержание тараксеренов в соста-

ве ПЦТ близко по величине к наблюдаемому в мартовских водах и торфе.

Следовательно, повышение температуры окружающей среды приводит к повышению в воде доли торфяных органических компонентов, возрастает содержание соединений, продуцируемых водными растениями и входящих в состав растительных смол. Из состава липидов болотных вод в июне исчезают компоненты эфирных масел, попадающих в воду из болотных растений с ранним началом вегетационного периода.

В июле, при незначительном повышении среднемесячной температуры по сравнению с июнем (19.6 и 16.3 °С соответственно), но резком возрастании количества выпавших атмосферных осадков и повышении уровня болотных вод (-19 см), в воде падает общее содержание липидов. В их составе 52 % представлено *n*-алканами, среди которых, как и в исследованном образце снежного покрова, существенно доминируют C_{25} и C_{27} . Возможно, такое молекулярно-массовое распределение *n*-алканов, в котором доминируют гомологи C_{25} и C_{27} , а остальные присутствуют в низкой концентрации, характерно для атмосферных осадков в заболоченных районах юго-запада Томской обл. Около 40 % липидов представлено карбоновыми кислотами с преобладанием пеларгоновой кислоты, среди остальных 8 % идентифицированы длинноцепочечные, метиловые и изопропиловые эфиры карбоновых кислот, алканоны, альдегиды, токоферолы и следы ТЦТ, представленные ретенном. Сквален, стероиды, БЦТ и ПЦТ отсутствуют либо их концентрации слишком низкие для определения методом ГХ-МС. Содержание альдегидов, одной из основных групп липидов, выделенных из снега, в июльской болотной воде незна-

чительно, а производные холестерина отсутствуют.

В августе, когда количество атмосферных осадков и уровень болотных вод (–28 см) несколько снизились, концентрация липидов в болотной воде возросла. Их групповой состав практически вернулся к наблюдавшемуся в июньской воде. Но начавшиеся в этом месяце работы по обустройству исследованного участка в границах стационара “Васюганский” привели к появлению в составе липидов изомеров насыщенных C_{27} (Ts и Tm), C_{29} (17 α ,21 β и 17 β ,21 α), C_{30} (17 α ,21 β и 17 β ,21 α) и C_{31} (R и S) гопанов, характерных для нефтяных масляных фракций [16]. Кроме того, понизилось зафиксированное в июне отношение гомологов алканов с нечетным числом атомов углерода к четным от 7.6 до 2.8, что также может быть следствием загрязнения воды нефтепродуктами.

Из биологических молекул липидов, присутствующих в августовской воде, несколько возросло относительное содержание стероидов, появились бетулин и метиловый эфир бетулиновой кислоты, которые в максимальной концентрации присутствуют в коре березы *Betula pubescens*, распространенной на приграничном с заболоченным лесом участке болота (проективное покрытие 30 %), на расстоянии около 500 м от пункта отбора проб [17]. В составе *n*-алканов и в торфе, и в весенних водах преобладает гомолог C_{31} .

Дальнейшее снижение **в сентябре** количества атмосферных осадков и уровня болотных вод (–31 см) отразилось на незначительном повышении в них общего содержания липидов с резким увеличением среди них доли ПЦТ. Несколько возросло содержание ДЦЭ с преобладанием C_{28} , как в весенних и летних водах, а также бициклических сесквитерпеноидов, представленных преимущественно кадиценами и калакоренами, доминирующими в торфе и многих видах растительных форм. Состав ПЦТ, доля которых близка к зафиксированной в торфе, отличается низким содержанием тараксенов и преобладанием α - и β -амиринов, которыми обогащены клюква, единично встречающаяся в пределах пункта отбора проб, а также брусника, широко распространенная на сопредельных участках исследуемого верхового болота [18]. Снизилось относительное содержание карбоновых кислот, в составе которых, как в торфе, преобладает пальмитиновая кислота, а более высокое по сравнению с торфом содержание каприновой и пеларгоновой, видимо, наследуется от летних вод. Нефтяные гопаны, зафиксированные в водах в августе, в сентябре были обнаружены лишь в следовых количествах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Липидные компоненты в снеговом покрове, торфе и водах Бакcharского болота представлены широким набором органических соединений, состав и содержание которых в болотных водах подвержены значительным сезонным колебаниям. Состав липидов болотных вод формируется за счет соединений, вымываемых из торфа, компонентов болотных растений, участие отдельных видов которых зависит от периода их вегетации, и соединений, попадающих с атмосферными осадками. Соотношение вклада этих источников меняется во времени, а содержание липидов в воде определяется периодом таяния снегового покрова и в дальнейшем обусловлено интенсивностью атмосферных осадков.

В начале весны, до таяния снегового покрова, содержание липидных компонентов в болотных водах максимальное, а их состав практически идентичен таковому в торфе. В составе липидов доминируют пентациклические тритерпеноиды (около 50 % от суммы липидов) и стероиды (16 %). Разбавление воды активно тающим снегом приводит к снижению общего содержания липидов, в состав которых наряду с торфяными значительный вклад вносят компоненты, принесенные атмосферными осадками в зимний период и представленные преимущественно *n*-алканами и *n*-альдегидами. Кроме того, в их составе присутствуют циклические моно- и сесквитерпениды, выделяемые пробуждающимися болотными растениями и достигающие максимальных концентраций (более 70 % от суммы липидов) в мае, в период цветения некоторых видов.

Повышение температуры окружающей среды в начале лета при низком количестве атмосферных осадков приводит к повышению в воде доли торфяных органических компонентов и *n*-карбоновых кислот. Увеличивается также доля липидов, продуцируемых водными растениями (увеличение концентрации *n*-алкана C_{23}) и соединений, входящих в состав смолы хвойных пород (дегидроабетиновая кислота и ее производные). Из состава липидов болотных вод исчезают компоненты эфирных масел, попадающих в воду из болотных растений с ранним началом вегетационного периода.

Интенсивное увеличение количества выпавших атмосферных осадков вызывает снижение в болотных водах содержания липидов. Основная группа, составляющая 52 % от общего содержания липидов, – это *n*-алканы, несколько меньше (42 %) приходится на карбоновые кислоты.

В конце лета, когда количество атмосферных осадков снизилось, содержание липидов

в болотной воде несколько возросло. В составе липидов повысилось содержание торфяных компонентов (C_{31} *n*-алкана и тараксенов). По сравнению с предыдущими летними месяцами увеличилось относительное содержание стероидов, ДЦЭ карбоновых кислот, токоферола, появились бетулин и его производные, присутствующие в высоких концентрациях в коре березы. Обнаружены насыщенные C_{27} , C_{29} – C_{31} гопаны, характерные для нефтепродуктов и указывающие на загрязнение болотных вод в результате проведения в августе на исследованном участке технических работ. Через месяц, в сентябре в водах резко возросло содержание биологических ПЦТ, а среди них α - и β -амиринов, которыми обогащены брусника и клюква. Снизилось содержание карбоновых кислот, состав которых приблизился к торфяному. Воды очистились от продуктов антропогенной деятельности. Такое быстрое исчезновение из болотных вод нефтепродуктов может быть обусловлено выносом их водным потоком или сорбцией контактирующим с водами торфом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лиштван И. И., Базин Е. Т., Гамаюнов Н. И., Терентьев А. А. Физика и химия торфа. Москва: Изд-во "Недра", 1989. 304 с.
- 2 Дучко М. А. Геохимия биомаркеров в торфах юго-восточной части Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Томск, 2017. 22 с.
- 3 Serebrennikova O. V., Strel'nikova E. B., Russkikh I. V., Duchko M. A. // *Solid Fuel Chem.* 2017. Vol. 51, No. 4. P. 195–204.
- 4 ГОСТ 31861–2012. Межгосударственный стандарт. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.
- 5 ПНД Ф 14.1:25–95. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и сточных водах методом ИК-спектроскопии. М.: М-во охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, 2004. 15 с.
- 6 Серебренникова О. В., Стрельникова Е. Б., Дучко М. А., Кадычагов П. Б., Русских И. В. // *Вод. ресурсы.* 2015. Т. 42, № 6. С. 623–634.
- 7 URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 04.06.2018).
- 8 Cooperband M. F., McElfresh J. S., Millar J. G., Cardé R. T. // *J. of Insect Physiol.* 2008. Vol. 54. P. 1184–1192.
- 9 Kimura R. // *Can. J. Animal Sci.* 2001. Vol. 81. P. 411–420.
- 10 Березнеговская Л. Н., Березовская Т. П., Дошинская Н. В. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1972. 170 с.
- 11 Witte S., Moco S., Vervoort J., Matern U., Martens S. // *Planta.* 2009. Vol. 229, No 5. P. 1135–1146.
- 12 Yu J. Q., Liao Z. X., Cai X. Q., Lei J. C., Zou G. L. // *Environ. Toxicol. and Pharmacol.* 2007. Vol. 23. P. 162–167.
- 13 Пахарькова Н. В., Филиппова М. А., Субботин М. А., Пахарьков М. А., Сорокина Г. А. // *Ульяновский мед.-биол. журн.* 2011. № 4. С. 111–117.
- 14 Серебренникова О. В., Гулая Е. В., Стрельникова Е. Б., Кадычагов П. Б., Прейс Ю. И., Дучко М. А. // *Химия раст. сырья.* 2014. № 1. С. 257–262.
- 15 Okoh O. O., Sadimenko A. P., Asekun O. T., Afolayan A. J. // *African J. Biotechnol.* 2008. Vol. 7. P. 1500–1502.
- 16 Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ngpedia.ru/id646117p1.html> (дата обращения: 04.06.2018).
- 17 Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность / Отв. ред. А. Л. Буданцев. СПб.: М.: Изд-во КМК, 2008. Т. 1. 421 с.
- 18 URL: <https://refdb.ru/look/1774540.html> (дата обращения: 04.06.2018).