



## Сравнение состава органических соединений в торфах и водах разных типов болот южно-таёжной подзоны Западной Сибири

© 2025 И. В. Русских <sup>1</sup>, Е. Б. Стрельникова <sup>1</sup>, О. В. Серебренникова <sup>1</sup>,  
Ю. А. Харанжевская <sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, Академический проспект, 4, г. Томск, 634055, Россия.

E-mail: [rus@ipc.tsc.ru](mailto:rus@ipc.tsc.ru)

<sup>2</sup>Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал ФГБУН Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, ул. Гагарина, 3, г. Томск, 634050, Россия. E-mail: [kharan@yandex.ru](mailto:kharan@yandex.ru)

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», проспект Ленина, 36, г. Томск, 634050, Россия.

**Цель исследования.** Определение особенностей состава органических соединений в воде разных типов болот Томской области в зависимости от их содержания в торфяной залежи.

**Место и время проведения.** Отбор проб болотных вод и соответствующих торфов проводили в июле–августе 2016 года на верховых, переходном и низинных болотах южно-таёжной подзоны Западной Сибири в границах Томской области. Пробы торфа были отобраны на глубине 30–60 см.

**Методы.** Экстракцию органических соединений из болотных вод осуществляли раствором 10% гексана в хлороформе. Образцы торфа были высушены и измельчены, органические соединения из торфа сконцентрированы путем экстракции 7% раствором метанола в хлороформе при 60 °С. Исследование индивидуального и компонентного состава органических соединений в воде и торфе проводили методом хроматомасс-спектрометрии с использованием магнитного хроматомасс-спектрометра.

**Основные результаты.** Исследован состав органических соединений торфов и вод в разных типах болот Томской области. Установлено, что в ряду торфа – болотные воды отдельные группы биомолекул распределены неравномерно. Среди ациклических структур в древесно-пушицевом и сфагновых торфах доминируют *n*-алканы (28–65%), в осоковых и гипновых торфах их доля не превышает 30%. В болотных водах преобладают *n*-алканы (38–54%), за исключением переходного болота Тисанское и низинного Ишколь, где доминируют длинноцепочечные эфиры жирных кислот. В осоковом и осоково-гипновом низинных торфах преобладают карбонильные структуры – *n*-алкан-2-оны, в некоторых торфах обнаружены также дикетоны – дионы. В водах доля карбонильных структур существенно ниже, в них распространены соединения с гидроксильной группой – *n*-алканола. Древесно-пушицевый, осоковый и осоково-гипновый торфа обогащены ациклическими соединениями. В верховых торфах и одном из переходных преобладают циклические структуры. Показано, что в составе циклических соединений в сфагновых верховых торфах преобладают пентациклические тритерпеноиды, в моховом переходном – дитерпеноиды, а в древесно-пушицевом и осоково-гипновом – стероиды. Соотношение содержания отдельных групп циклических соединений в водах большинства болот близко к таковому в соответствующих торфах. Только в двух болотах соотношение групп циклических структур в водах и торфе отличается.

**Заключение.** Анализ состава органических соединений показал, что в торфах и водах среди ациклических соединений, наряду с преобладанием *n*-алканов, в большом количестве присутствуют соединения с карбонильной группой – *n*-алкан-2-оны, дикетоны и *n*-альдегиды, а в водах – длинноцепочечные эфиры. В составе циклических соединений верховых торфов доминируют пентациклические тритерпеноиды; в осоково-гипновом низинном и древесно-пушицевом переходном торфах – стероиды, а в моховом переходном – дитерпеноиды. Болотные воды в большинстве наследуют циклические соединения соответствующих торфов.

**Ключевые слова:** верховые, переходные и низинные болота; торф; болотная вода; торф; распределение органических, ациклических и циклических соединений.

**Цитирование:** Русских И.В., Стрельникова Е.Б. Серебренникова О.В., Харанжевская Ю.А. Сравнение состава органических соединений в торфах и водах разных типов болот южно-таёжной подзоны Западной Сибири // Почвы и окружающая среда. 2025. Том 8. № 4. е326. DOI: [10.31251/pos.v8i4.326](https://doi.org/10.31251/pos.v8i4.326)

### ВВЕДЕНИЕ

Территория Западной Сибири характеризуется высокой заболоченностью, достигающей на отдельных участках 50% и более. Для болот характерны избыточное увлажнение почв, присутствие

специфической гидрофильной растительности и процессы торфонакопления. Совокупность взаимосвязанных компонентов болот – болотной растительности и отложений торфа формирует особый состав болотных вод (Савичев, 2015). Болотные воды для всех типов торфяной залежи (верхового, переходного и низинного) содержат большое количество органических веществ (80–120 мгС/дм<sup>3</sup>), поступающих в них в процессе трансформации растительных остатков. В составе органических веществ обнаружены фульвокислоты, гуминовые кислоты, фенолы, ароматические и парафиновые углеводороды, карбоновые кислоты и ряд других соединений (Шварцев и др., 2012). В настоящее время проводятся исследования органических веществ в торфах, посвященные распространению отдельных соединений, например, полиароматических (Tfaily et al., 2018; Prijas, 2022), *n*-алканов (Габов и др., 2022; Pastukhov et al., 2025), но мало работ, в которых проводится анализ всего комплекса органических соединений и сопоставление его с болотными водами.

В работе (Серебренникова и др., 2019а) показана сезонная динамика состава органических соединений в воде верхового участка, типичного для южной тайги Бакчарского болота, который формируется за счёт соединений, образовавшихся в торфяной залежи, попадающих с атмосферными осадками, а также компонентов болотных растений. Данная работа посвящена исследованию особенностей состава органических соединений в водах разных типов болот Томской области в зависимости от их содержания в торфяной залежи.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб болотных вод и соответствующих торфов проводили в июле–августе 2016 года на верховых, переходном и низинных болотах южно-таёжной подзоны Западной Сибири в границах Томской области (табл. 1).

Таблица 1

#### Характеристика исследуемых болот Томской области

Болото	Координаты	Геоморфологическое положение	Ботанический состав торфа	Степень разложения торфа, %	pH воды, ед.
Верховое Большое	58°47'51,7" 81°11'50,8"	3-я надпойменная терраса р. Обь	Верховой фускум-торф: <i>S. fuscum</i> – 95%, <i>S. divinum</i> , кустарнички – 5%.	10	4,0
Верховое Бакчарское ПЗ (отроги Большого Васюганского болота)	56°58'24,3" 82°36'41,2"	Междуречье рек Бакчар и Икса	Верховой фускум-торф: <i>S. fuscum</i> – 85%, <i>S. divinum</i> – 5%, <i>S. angustifolium</i> – 5%, ерниковые кустарнички – 5%	5	4,2
Верховое Бакчарское П5 (отроги Большого Васюганского болота)	56°58'17,3" 82°37'04,5"	Междуречье рек Бакчар и Икса	Верховой пушицево-сфагновый торф: <i>S. divinum</i> – 55%, <i>S. balticum</i> – 10%, ерниковые кустарнички – 5%, пушица – 25%, <i>S. majus</i> – 5%	10	4,5
Верховое Центральное	58°18'57,7" 84°55'59,5"	3-я надпойменная терраса р. Кеть	Верховой фускум-торф: <i>S. fuscum</i> – 90%, пушица – 5%, кустарнички – 5%	5	4,3
Верховое Иксинское (северо-восточные отроги Большого Васюганского болота), выгоревшее в 1998 г.	56°51'30,6" 83°04'06"	Междуречье рек Иксы и Шегарки (бассейн реки Чая) в Бакчарском районе	Древесно-пушицевый переходный торф: <i>Carex rostrata</i> – 5%, <i>S. balticum</i> , <i>S. divinum</i> – 10 %, <i>Pinus sylvestris</i> – 10%, <i>Carex lasiocarpa</i> – 5%, пушица – 60%, <i>Betula pubescens</i> – 10%	20	5,4
Переходное Тисанское	58°25'26,0" 83°44'34,9"	Пойма реки Кеть	Моховой переходный торф: <i>S. divinum</i> – 40%, <i>Bryopsida</i> – 35%, <i>Carex lasiocarpa</i> – 10%, <i>Carex diandra</i> – 5%, древесные остатки – 10%.	15	4,9
Низинное Самара	56°55'30,1" 82°30'41,1"	1-я надпойменная терраса р. Бакчар	Осоковый низинный торф: <i>Carex rostrata</i> – 40%, <i>Carex lasiocarpa</i> – 15%, <i>Carex diandra</i> – 5%, <i>Drepanocladus aduncus</i> – 10%, пушица – 10%, <i>Meesia triquetra</i> , <i>Carex appropinquata</i> – 5%, <i>Betula nana</i> – 10%, вахта – 5%.	20	6,7
Низинное Ишколь	57°11'51,4" 85°54'8,2"	Пойма р. Чулым	Осоково-гипновый низинный торф: <i>Drepanocladus aduncus</i> – 40%, <i>Carex rostrata</i> – 30%, вахта – 10%, <i>Carex diandra</i> , <i>Hamatocaulis vernicosus</i> – 20%.	30	6,8

Для отбора проб выбирался наиболее типичный участок, пробы торфа были отобраны на глубине 30–60 см. Отбор проб торфа проводился в однократной повторности, непосредственно в месте отбора проб болотных вод. Пробы болотных вод отбирали из специально организованной скважины. В пределах верхового болота Большое отбор проб осуществляли в пределах сосново-кустарничково-сфагнового фитоценоза с низкой сосной. Отбор проб в пределах верхового Бакчарского болота проводился в сосново-кустарничково-сфагновом фитоценозе с низкой сосной (Пункт 3, ПЗ), а также в осоково-сфагновой топи (Пункт 5, П5). На Иксинском верховом болоте отбор проб проводили в сосново-кустарничково-сфагновом фитоценозе с высокой сосной. В пределах Центрального болота отбор проб осуществляли в мочажине в пределах грядово-мочажинного комплекса. Пробы в пределах Тисанского болота отбирали в сосново-кустарничковом травяно-сфагновом фитоценозе. В пределах болота Самара отбор проб проводили в березово-сосново-травяно-сфагновом фитоценозе. На болоте Ишколь пробы отбирали в пределах лиственнично-осокового кустарничково-гипнового фитоценоза. Более подробная характеристика болот приведена в работе (Серебренникова и др., 2023).

Органические соединения из болотных вод экстрагировали раствором 10% гексана в хлороформе. Образцы торфа были высушены и измельчены, липиды из торфа сконцентрированы путем экстракции 7% раствором метанола в хлороформе при 60°C. Исследование индивидуального и компонентного состава органических соединений проводили методом хроматомасс-спектрометрии с использованием магнитного хроматомасс-спектрометра DFS, предоставленного центром коллективного пользования ТомЦКП СО РАН (Серебренникова и др., 2019а; Серебренникова и др., 2023), аттестованного с погрешностью определения не более 5%. Режим работы хроматографа: кварцевая капиллярная хроматографическая колонка фирмы “Agilent” с внутренним диаметром 0.25 мм, длиной 30 м, толщина фазы 0,25 мкм, неподвижная фаза – TR-5MS; газ-носитель – гелий, температура испарителя 250°C, температура интерфейса 250°C. Индивидуальные соединения идентифицировали по масс-фрагментограммам в программе X-Calibur 10 с использованием компьютерной библиотеки масс-спектров NIST.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В образцах торфа и воде исследованных болот идентифицированы ациклические и циклические органические соединения (табл. 2, 3).

**Таблица 2**

Содержание ациклических и циклических соединений в торфах (мкг/г) и водах (мкг/л) верховых болот

Соединения	Большое		Бакчарское ПЗ		Бакчарское П5		Центральное	
	Торф	Вода	Торф	Вода	Торф	Вода	Торф	Вода
Ациклические								
<i>n</i> -Алканы	14,2	23,7	19,1	9,8	22,0	42,0	24,5	20,1
Длинноцепочечные эфиры	0	16,4	0	6,1	0,0	23,0	0	6,6
<i>n</i> -Альдегиды	10,9	5,5	8,6	1,3	1,6	16,3	7,9	2,2
<i>n</i> -Алкан-2-оны	10,7	2,8	9,3	2,9	4,2	7,2	8,3	1,5
Дикетоны	8,1	1,5	1,1	0,2	0,8	6,6	5,8	0,1
<i>n</i> -Алканола	7,5	8,6	6,6	5,5	5,1	0	3,1	6,7
10-Нонакозанол	0	0,1	0	0,2	0	0	0	0,2
Сумма	51,4	58,5	44,7	26,0	33,6	95,1	49,7	37,4
Циклические								
Дитерпеноиды	0,7	2,2	2,1	0	1,7	0,03	1,0	0,0
ПЦТ	278,9	11,6	63,6	1,4	34,8	86,5	196,0	0,8
Стероиды	48,0	6,2	14,6	0,8	32,3	3,2	46,1	21,1
Токоферолы	8,8	0,4	5,4	0,1	0,4	0,4	9,8	0,3
Сумма	336,5	20,3	84,7	2,3	69,3	90,2	252,9	22,4

Среди ациклических соединений идентифицированы: *n*-алканы, *n*-алкан-2-оны, *n*-алканола, *n*-альдегиды, дионы, длинноцепочечные эфиры жирных кислот (ДЦЭ). В ряду циклических соединений обнаружены бициклические токоферолы (ТФ), трициклические дитерпеноиды (ДТ), тетрациклические стероиды (СТ) и пентациклические тритерпеноиды (ПЦТ).

Таблица 3

Содержание ациклических и циклических соединений в переходных и низинных торфах (мкг/г) и болотных водах (мкг/л)

Соединения	Переходные				Низинные			
	Тисанское		Иксинское		Ишколь		Самара	
	Торф	Вода	Торф	Вода	Торф	Вода	Торф	Вода
Ациклические								
<i>n</i> -Алканы	8,0	5,8	31,1	1,9	5,6	1,1	34,7	4,2
Длинноцепочечные эфиры	25,4	9,4	0	0,2	0	5,1	0,0	0,7
<i>n</i> -Альдегиды	3,3	0,8	15,9	0,1	2,0	0,3	2,8	0,2
<i>n</i> -Алкан-2-оны	7,2	2,1	9,8	0,7	13,7	0,1	47,5	0,3
Дикетоны	0	0,5	0,4	0,0	3,7	0,0	17,6	0,0
<i>n</i> -Алконолы	0	4,8	0	0,7	2,8	1,0	15,6	2,8
10-Нонакозанол	0	0,2	0	0	0	0	0	0
Сумма	43,9	23,6	57,2	3,7	27,8	7,6	118,2	8,3
Циклические								
Дитерпеноиды	92,2	43,8	6,6	0,1	0	0,1	0	0
ПЦТ	22,3	2,5	9,4	0,4	3,2	0,7	34,1	2,0
Стероиды	34,6	6,1	16,0	0,9	6,1	2,7	11,2	2,2
Токоферолы	2,7	0,1	0,3	0,0	0,7	0,4	4,0	0,3
Сумма	151,8	52,4	32,4	1,4	9,9	3,9	49,6	4,5

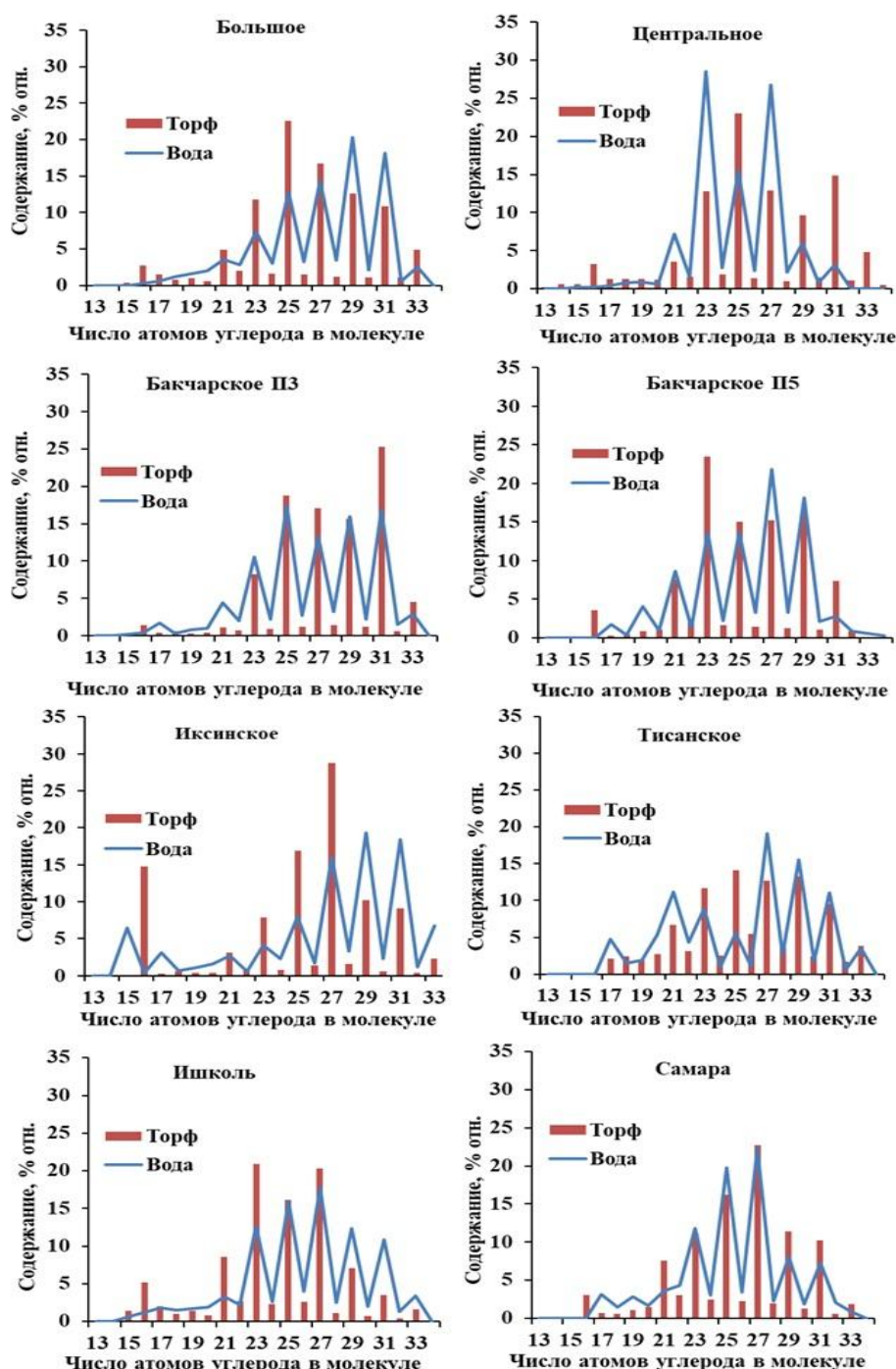
Болотная вода, являясь огромным резервуаром, должна отражать состав компонентов торфов и растений. Одной из представительных групп ациклических органических соединений большинства исследованных болот являются *n*-алканы. Присутствие *n*-алканов в объектах окружающей среды объясняется биопродуктивностью растений, животных, микроорганизмов, либо наличием нефтепродуктов, о чем свидетельствует характер распределения *n*-алканов (Peters et al., 2007). Для биологических систем характерно преобладание *n*-алканов с нечетным числом атомов углерода в молекуле над четным количеством; в нефтепродуктах распределение *n*-алканов сглажено (Hunt, 1979). В данной работе обнаружено преобладание *n*-алканов с нечетным числом атомов углерода над четным количеством в водах и торфах всех болот, что свидетельствует о преимущественно биогенном происхождении этих соединений.

Анализ распределения *n*-алканов в торфах и водах исследованных болот (рис. 1) показал доминирование высокомолекулярных нечетных гомологов C<sub>21</sub>–C<sub>31</sub>. В фускум-торфе болота Большое, состоящем в основном из остатков мхов *Sphagnum fuscum* (табл. 1), доминирующим является алкан C<sub>25</sub> и характерный для *Sphagnum divinum* C<sub>23</sub> (Серебренникова и др., 2019б), тогда как в воде в максимальном количестве присутствуют C<sub>29</sub> и C<sub>31</sub>. Наличие C<sub>29</sub> характерно для хамедафны (*Chamaedaphne calyculata*), а C<sub>31</sub> – для пушицы (Серебренникова и др., 2014).

В фускум-торфе болота Центральное преобладает C<sub>25</sub>, кроме этого присутствует C<sub>31</sub>, характерный для пушицы, в воде в максимальном количестве обнаружены C<sub>23</sub> и C<sub>27</sub>. В торфе, отобранном на участке осоково-сфагнуовой топи Бакчарского П5 болота доминирующим алканом является C<sub>23</sub>, который преобладает в торфах, в составе которых преобладают остатки мхов *Sphagnum divinum*, *Sphagnum balticum* (Стрельникова и др., 2021); в воде доминируют алканы C<sub>27</sub> и C<sub>29</sub>. В фускум-торфе на участке рья Бакчарского ПЗ болота, наряду с высоким содержанием C<sub>25</sub>–C<sub>29</sub>, обнаружено максимальное количество C<sub>31</sub>; похожее распределение алканов в воде. В древесно-пушицевом переходном торфе Иксинского болота преобладают C<sub>27</sub> (*Scheuchzeria*) (Стрельникова и др., 2021), C<sub>25</sub> и C<sub>16</sub> (наличие C<sub>16</sub> характерно для микроорганизмов (Pancost et al., 2002; Hunt, 1979)). В воде Иксинского болота, как и в воде болота Большое, в максимальном количестве присутствуют C<sub>29</sub> и C<sub>31</sub>, что определяется наличием кустарничков и пушицы в растительном покрове. В моховом торфе переходного Тисанского болота доминируют гомологи C<sub>25</sub>–C<sub>29</sub>. Такое распределение встречается в некоторых сфагновых торфах (Naafs et al., 2019).

В низинных торфах (осоково-гипновом (Ишколь) и осоковом (Самара)) доминируют алканы C<sub>23</sub>–C<sub>27</sub> и C<sub>27</sub>, соответственно, в воде преобладают гомологи C<sub>27</sub> и C<sub>29</sub>, а в воде переходного Тисанского и низинных болот доминирует C<sub>27</sub>. Подобное распределение *n*-алканов в различных сфагновых торфах и мхах показано в работах (Серебренникова и др., 2018; Стрельникова и др., 2021; Серебренникова и др., 2019а; Pancost et al., 2002; Bingham et al., 2010).





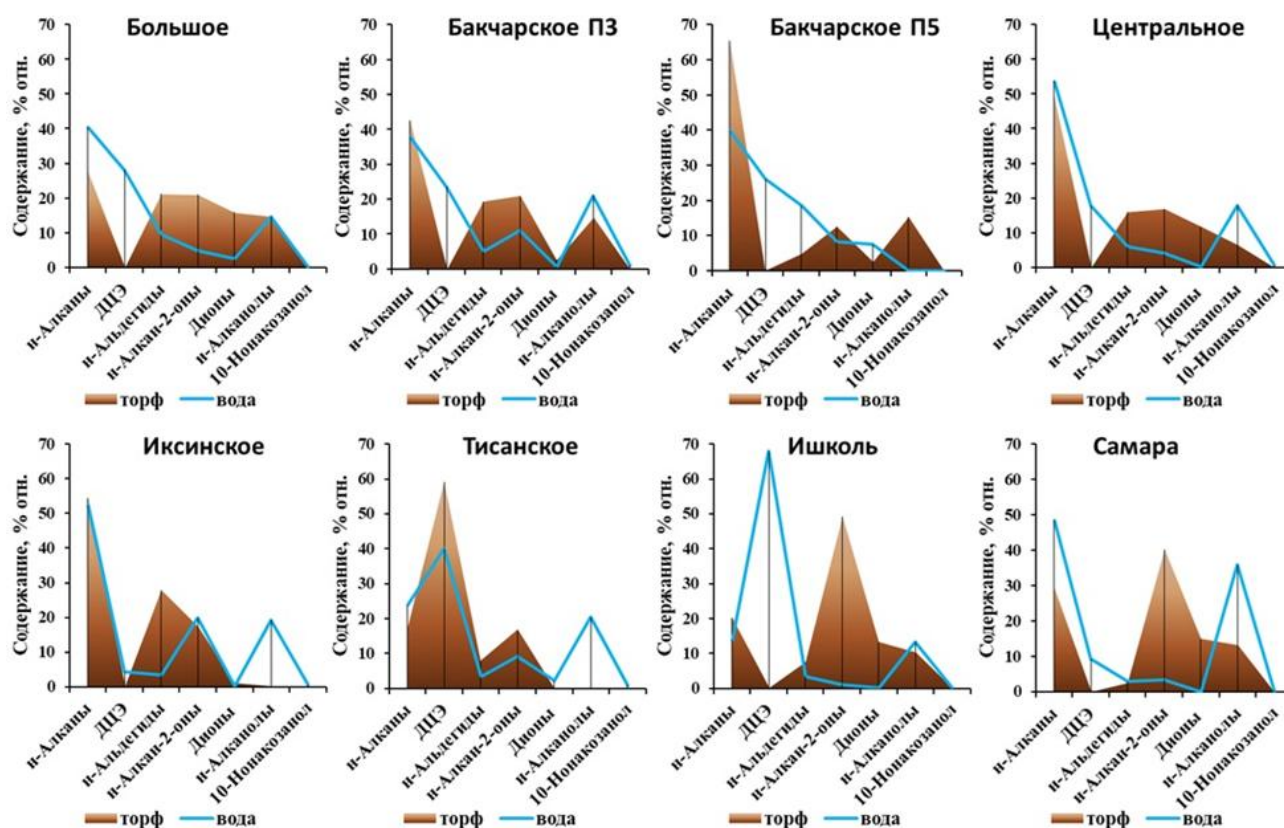
**Рисунок 1.** Распределение *n*-алканов в торфах и водах верховых (Большое, Бакcharское, Центральное, Иксинское), низинных (Самара, Ишколь) и переходного (Тисанское) болот.

В торфах и водах обнаружены *n*-алкан-2-оны  $C_{19}$ – $C_{33}$  с доминированием нечетных структур. В образцах с преобладанием сфагновых мхов (верховые болота) преобладает гомолог  $C_{27}$ , как и в большинстве сфагновых мхов (Стрельникова и др., 2021). В низинных торфах, образованных преимущественно осокой и гипновыми мхами, в равных количествах с  $C_{27}$  присутствует гомолог  $C_{25}$ . В водах низинных болот максимум распределения алканов приходится на гомологи  $C_{27}$ ,  $C_{29}$ ,  $C_{31}$ . Кроме того, в составе *n*-алкан-2-онов низинных и переходных торфов и болотных вод заметны гомологи  $C_{19}$  и  $C_{21}$ , а в болоте Иксинское гомолог  $C_{21}$  доминирует над остальными. В большинстве торфов и вод обнаружены также нечетные  $\beta$ -дикетоны  $C_{21}$ – $C_{33}$ . Известно, что дикетоны 14,16-гентриаконтандион и 16,18-триатриаконтандион распространены во многих растениях, в том числе в злаковых травах (Tulloch, 1976). В состав идентифицированных в торфах и водах болот Томской области ациклических карбонильных структур входят также преимущественно четные *n*-альдегиды ряда  $C_{20}$ – $C_{32}$ , среди которых преобладают гомологи  $C_{24}$ – $C_{28}$ .

В большинстве торфов и вод идентифицированы четные *n*-алканола  $C_{14}$ – $C_{30}$ . В водах преобладают гомологи  $C_{22}$ – $C_{26}$ , в торфах доля гомологов  $C_{14}$ – $C_{18}$  сопоставима, а в некоторых случаях даже превышает основную моду. Подобно *n*-алканам, четные *n*-алканола  $C_{14}$ – $C_{18}$  могут являться продуктами деятельности микроорганизмов. В большинстве болотных вод, за исключением участка осоково-сфагнутой топи, обнаружен длинноцепочечный спирт – 10-нонакозанол, который содержится, например, в восках листьев рябины и составляет до 60% от общего количества воска хвойных пород деревьев (Русских, Стрельникова, 2024; Matas et al., 2003); при этом в исследованных торфах этот спирт не зафиксирован.

Длинноцепочечные эфиры одноатомных спиртов и жирных кислот с 26–34 атомами углерода в молекуле широко распространены в болотных водах. Это компоненты растительного воска, вырабатываемого растениями для защиты от неблагоприятных факторов внешней среды. Максимальное содержание ДЦЭ зафиксировано в водах переходного Тисанского болота, в торфяной залежи которого эти соединения также обнаружены.

В ряду торфа–болотные воды отдельные группы биомолекул распределены неравномерно. В сфагновых торфах и древесно-пушицевом торфе доминируют углеводороды – *n*-алканы (рис. 2); их доля в составе ациклических структур составляет 28–65% и не превышает 30% в осоковых и гипновых торфах. В большинстве вод преобладают *n*-алканы (38–54%), за исключением переходного болота Тисанское и низинного Ишколь, где доминируют ДЦЭ. Высокое содержание последних отмечается и в водах верховых болот.

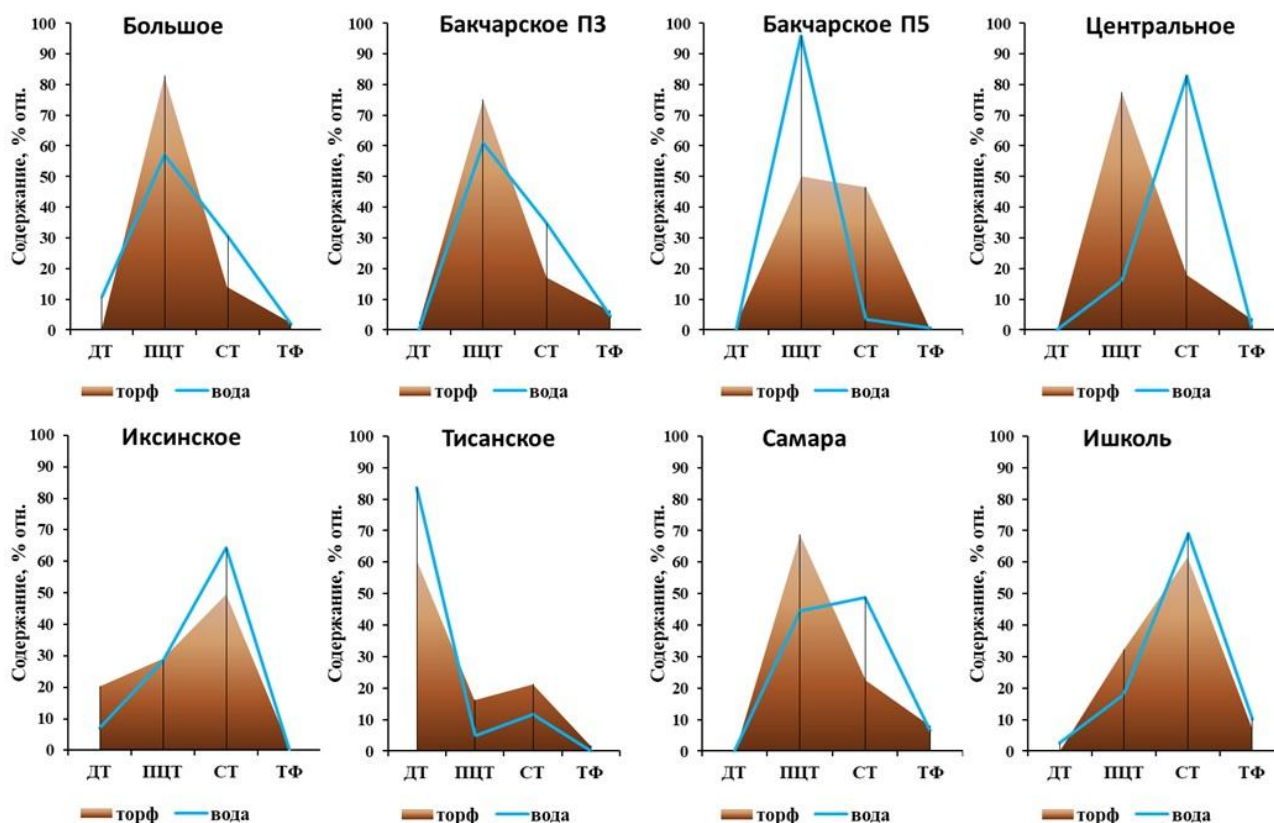


**Рисунок 2.** Относительное содержание ациклических структур в торфяных залежах и водах верховых (Большое, Бакcharское, Центральное, Иксинское), низинных (Самара, Ишколь) и переходного (Тисанское) болот.

В осоковом и осоково-гипновом низинных торфах преобладают карбонильные структуры – *n*-алкан-2-оны. Другие соединения с карбонильной группой – *n*-альдегиды – присутствуют в древесно-пушицевом и большинстве сфагновых торфах, в некоторых торфах обнаружены также дикетоны – дионы. В водах роль карбонильных структур существенно ниже, на третьем месте по распространенности после углеводородов (*n*-алканов) и сложных эфиров (ДЦЭ) находятся спирты – *n*-алканола, за исключением участка осоково-сфагнутой топи Бакcharского болота (П5), где эти соединения отсутствуют.

Содержание циклических соединений в исследованных торфах варьирует от 9,9 до 336,5 мкг/г сухого торфа (табл. 2, 3). Максимальные значения присущи моховому переходному (Тисанское болото)

и сфагновым верховым (Большое, Бакcharское и Центральное болота) торфам, содержание в которых циклических структур в среднем в 4 раза выше, чем ациклических. При этом в составе циклических структур сфагновых торфов преобладают ПЦТ, в моховом – дитерпеноиды. Древесно-пушицевый (Иксинское болото), осоковый и осоково-гипновый торфа (болота Самара и Ишколь, соответственно), наоборот, обогащены ациклическими соединениями, концентрация которых в 1,8–2,8 раза выше суммы циклических; в составе же циклических соединений, в отличие от сфагновых торфов, преобладают (за исключением осокового торфа) стероиды (рис. 3).



**Рисунок 3.** Относительное содержание отдельных групп соединений в составе циклических структур в торфах и водах верховых (Большое, Бакcharское, Центральное, Иксинское), низинных (Самара, Ишколь) и переходного (Тисанское) болот.

В водах большинства исследованных болот, независимо от ботанического состава торфа, содержание циклических соединений в 1,5–11,3 раза ниже суммы ациклических. Только в воде осоково-сфагновой топи Бакcharского болота (П5) содержание ациклических и циклических структур близко, а в воде Тисанского болота концентрация циклических соединений в 2 раза больше ациклических.

Соотношение содержания отдельных групп циклических соединений в водах большинства исследованных болот близко к таковому, наблюдаемому в соответствующих торфах (рис. 3). Только в водах болот Центральное и Самара, в отличие от торфов, преобладают стероиды, доля которых несколько повышена в водах Большого, Бакcharского ПЗ и Иксинского болот, а в воде Бакcharского П5 болота увеличено относительное содержание ПЦТ. Вклад в состав циклических структур дитерпеноидов несколько выше, чем в торфе, в воде Тисанского и Большого болот, а в воде Иксинского их доля понижена.

Отличаются от остальных болот Центральное, осоково-сфагновая топь Бакcharского болота (П5) и, в меньшей степени, болото Самара. В воде болота Центральное наблюдается аномально высокая доля стероидов на фоне пониженной концентрации ПЦТ. Низкая концентрация ПЦТ в воде этого болота обусловлена отсутствием в их составе, в отличие от соответствующего торфа, углеводородных составляющих, занимающих в торфе значительное место. В осоково-сфагновой топи Бакcharского болота при переходе от торфа к воде отмечено резкое возрастание в составе циклических соединений доли ПЦТ за счет увеличения содержания D-фриедеолеан-14-ена (тараксерена) и снижение вклада группы стероидов. Последнее связано с отсутствием в воде стероидов с гидроксильным заместителем, доминирующих в торфе. Это, в свою очередь, может быть обусловлено особенностями распределения



стероидов с гидроксильным и кетонным заместителем в системе торф – вода на этом участке болота. Повышенная доля стероидов в воде болота Самара связана с наличием среди них отсутствовавшего в торфе холестерина, продуцируемого фитопланктоном.

Незначительное увеличение относительного содержания токоферола в воде по сравнению с соответствующим торфом отмечено в болотах Тисанское и Ишколь, а дитерпеноидов – в болоте Большое.

## ВЫВОДЫ

Различия состава липидов торфов и соответствующих болотных вод выражаются главным образом в соотношении тех или иных групп идентифицированных соединений (биомолекул). В большинстве торфов и вод в составе ациклических органических соединений преобладают *n*-алканы, в торфах высока роль соединений с карбонильной группой – *n*-алкан-2-онов, дикетонов и *n*-альдегидов, а в водах концентрируются длинноцепочечные эфиры и *n*-алканола. В составе циклических соединений большинства исследованных верховых торфов доминируют пентациклические тритерпеноиды. Только в осоково-гипновом низинном и древесно-пушицевом переходном торфах преобладают стероиды, а в моховом переходном – дитерпеноиды. Болотные воды в большинстве своем наследуют основные черты группового состава циклических соединений соответствующих торфов. То же относится и к индивидуальному составу ациклических соединений, таких как *n*-алканы, *n*-алкан-2-оны, *n*-алканола, *n*-альдегиды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время исследование трансформации химического состава болотных вод под влиянием осушения и последующей деградации болот, природных пожаров, роста атмосферных выпадений и современных тенденций изменения климата является актуальным. Региональные особенности состава болотных вод зависят от типа торфяной залежи и водно-минерального питания болот, климатических и гидрогеологических условий территории. Разные типы болот могут содержать верховые, переходные и низинные торфяные залежи, ботанический состав которых разнообразен. В водах болот присутствуют биогенные соединения, образующиеся в процессе разложения и трансформации остатков растительности, которые формируют разные типы болотных залежей; в этой связи необходимы подробные исследования химического состава болотных растений. Проведенные исследования показали, что в торфах и водах среди ациклических соединений, наряду с преобладанием *n*-алканов, в большом количестве присутствуют соединения с карбонильной группой – *n*-алкан-2-оны, дикетоны и *n*-альдегиды, а в водах – длинноцепочечные эфиры. Болотные воды наследуют, в основном, циклические соединения соответствующих торфов. Полученные данные могут быть использованы для мониторинга состояния болот, а также для выбора направлений рационального применения торфяного сырья, поскольку некоторые идентифицированные органические соединения являются биологически активными веществами.

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии нефти СО РАН (НИОКТР 121031500046-7), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Сибирским НИИ сельского хозяйства и торфа – филиалом ФГБУН Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН (№ FNUU-2024-0002).

## ЛИТЕРАТУРА

- Габов Д.Н., Яковлева Е.В., Василевич Р.С., Груздев И.В. Распределение *n*-алканов в бугристых торфяниках крайнесеверной тайги европейского северо-востока России и их значение для палеоклиматической реконструкции // Почвоведение. 2022. № 7. С. 808–824. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22070048>
- Русских И.В., Стрельникова Е.Б. Динамика двухлетнего постпирогенного восстановления состава биомолекул кустарников южной тайги Томской области // Химия в интересах устойчивого развития. 2024. Том 32. № 2. С. 188–194. <https://doi.org/10.15372/KhUR2024547>
- Савичев О.Г. Геохимические показатели болотных вод в таежной зоне Западной Сибири // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 4. С. 47–57. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-4-47-57>
- Серебренникова О.В., Гулая Е.В., Стрельникова Е.Б., Кадычагов П.Б., Прейс Ю.И., Дучко М.А. Химический состав липидов типичных растений-торфообразователей олиготрофных болот лесной зоны Западной Сибири // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С. 257–262. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1401257>



- Серебренникова О.В., Дучко М.А., Коронатова Н.Г., Стрельникова Е.Б. Содержание и состав липидов сфагнового торфа в зависимости от температуры природно-климатических зон Западной Сибири // Химия твердого топлива. 2018. № 1. С. 38–45. <https://doi.org/10.7868/S0023117718010085>
- Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Русских И.В., Харанжевская Ю.А., Воистинова Е.С. Сезонная динамика распределения органических соединений в болотных водах южной тайги (Западная Сибирь) // Химия в интересах устойчивого развития. 2019а. Том 27. № 1. С. 65–72. <https://doi.org/10.15372/KhUR20190110>
- Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Русских И.В. Особенности состава липидов сфагновых и бриевых мхов из различных природно-климатических зон // Химия растительного сырья. 2019б. № 3. С. 225–234. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034558>
- Серебренникова О.В., Русских И.В., Стрельникова Е.Б., Харанжевская Ю.А., Федоров Д.В. Состав органических соединений торфов разного типа южно-таежной подзоны Западной Сибири // Химия твердого топлива. 2023. № 2–3. С. 26–34. <https://doi.org/10.31857/S0023117723020135>
- Стрельникова Е.Б., Русских И.В., Преис Ю.И. Н-алканы и н-алкан-2-оны – липидные биомаркеры верховых торфов и болотных растений Западной Сибири // Химия твердого топлива. 2021. № 5. С. 56–66. <https://doi.org/10.31857/S0023117721050066>
- Шварцев С.Л., Серебренникова О.В., Здвижков М.А., Савичев О.Г., Наймушина О.С. Геохимия болотных вод нижней части бассейна томи (юг Томской области) // Геохимия. 2012. № 4. С. 403.
- Bingham E.M., McClymont E.L., Valiranta M., Mauquoy D., Roberts Z., Chambers F.M., Pancost R.D., Evershed R.P. Conservative composition of n-alkane biomarkers in sphagnum species: implications for palaeoclimate reconstruction in ombrotrophic peat bogs // Organic Geochemistry. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.06.010>
- Hunt J.M. Petroleum Geochemistry and Geology. San Francisco: Freeman, 1979. 617 p.
- Matas A.J., Sanz M.J., Heredia A. Studies on the structure of the plant wax nonacosan-10-ol, the main component of epicuticular wax conifers // International Journal of Biological Macromolecules. 2003. Vol. 33. No. 1–3. P. 31–35. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(03\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(03)00061-8)
- Naafs B.D.A., Inglis G.N., Blewett J., McClymont E.L., Lauretano V., Xied S., Evershed R.P., Pancost R.D. The potential of biomarker proxies to trace climate, vegetation, and biogeochemical processes in peat: A review // Global and Planetary Change. 2019. Vol. 179. P. 57–79. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.05.006>
- Pancost R.D., Baas M., van Geel B., Sinninghe Damste J.S. Biomarkers as proxies for plant inputs to peats: an example from a sub-boreal ombrotrophic bog // Organic Geochemistry. 2002. Vol. 33. P. 675–690. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00048-7)
- Pastukhov A., Kaverin D., Loiko S. N-Alkanes in Permafrost Peatlands // Plants. 2025. Vol. 14. No. 3. P. 449–470. <https://doi.org/10.3390/plants14030449>
- Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History. Cambridge University Press, 2007. Vol. 2. 704 p.
- Priac A., Gandois L., Jeanneau L., Taillardat P., and Garneau M. Dissolved organic matter concentration and composition discontinuity at the peat-pool interface in a boreal peatland // Biogeosciences. 2022. Vol. 19. No. 18. P. 4571–4588. <https://doi.org/10.5194/bg-19-4571-2022>
- Tfaily M.M., Wilson R.M., Cooper W.T., Kostka J.E., Hanson P., Chanton J.P. Vertical Stratification of Peat Pore Water Dissolved Organic Matter Composition in a Peat Bog in Northern Minnesota // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2018. Vol. 123. No. 2. P. 479–494. <https://doi.org/10.1002/2017JG004007>
- Tulloch A.P. Chemistry of waxes of higher plants. In chemistry and biochemistry of natural waxes / P.E. Kolattukudy (ed.). Amsterdam: Elsevier, 1976. P. 235–287.

Поступила в редакцию 05.08.2025

Принята 03.10.2025

Опубликована 31.10.2025

#### Сведения об авторах:

**Русских Ирина Владимировна** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (г. Томск, Россия); [rus@ipc.tsc.ru](mailto:rus@ipc.tsc.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9882-1365>

**Стрельникова Евгения Борисовна** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (г. Томск, Россия); [seb@ipc.tsc.ru](mailto:seb@ipc.tsc.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7248-9437>

**Серебrenникова Ольга Викторовна** – доктор химических наук, зав. лабораторией природных превращений нефти ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (г. Томск, Россия); [ovs49@yahoo.com](mailto:ovs49@yahoo.com); <https://orcid.org/0000-0003-4085-0598>

**Харанжевская Юлия Александровна** – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа – филиал ФГБУН Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий РАН, доцент ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск, Россия); [kharan@yandex.ru](mailto:kharan@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9945-0129>

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## Comparison of organic compounds content in peat deposits and water of different mire types in the southern taiga subzone of West Siberia

© 2025 I. V. Russkikh <sup>1</sup>, E. B. Strelnikova <sup>1</sup>, O. V. Serebrennikova <sup>1</sup>,  
Yu. A. Kharanzhevskaya <sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademicheskoy Avenue, 4, Tomsk, Russia. E-mail: [rus@ipc.tsc.ru](mailto:rus@ipc.tsc.ru)

<sup>2</sup>Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Gagarin street, 3, Tomsk, Russia. E-mail: [kharan@yandex.ru](mailto:kharan@yandex.ru)

<sup>3</sup>National Research Tomsk State University, Lenin Avenue, 36, Tomsk, Russia.

**The aim of the study** was to examine the composition of organic compounds in the water of different mire types in the Tomsk region, depending on the compounds' content in peat deposits.

**Location and time of the study.** Water and the corresponding peat were sampled in July–August 2016 in the raised bogs, transitional mires and fens of the southern taiga subzone of West Siberia within the boundaries of the Tomsk region. Peat samples were taken at a depth of 30–60 cm.

**Methods.** Extraction of organic compounds from the water samples was carried out with 10% hexane solution in chloroform. Peat samples were dried and crushed, and organic compounds from peat were concentrated by extraction with 7% of methanol solution in chloroform at 60 °C. The individual and component composition of organic compounds in water and peat was studied by chromatomass spectrometry using a magnetic chromatomass spectrometer.

**Results.** In the peat–water series, individual groups of biomolecules were found to be unevenly distributed. Among the acyclic structures in mesotrophic peat with wood and cotton grass and Sphagnum peat, n-alkanes dominated (28–65%), whereas in sedge and hypnum eutrophic peat n-alkanes accounted for no more than 30%. N-alkanes also predominated in water (38–54%), with the exception of the Tisanskoe transitional mire and the Ishkol fen, where low-chain ethers of fatty acids were dominant. A high content of the latter was also observed in the water of the raised bogs. Carbonyl structures, n-alkane–2-ones, predominated in sedge and sedge-gypsum eutrophic peat. Carbonyl structures, n-alkane–2-ones, predominated in sedge and sedge-gypsum lowland peat, and diketones-diones were also found in some peat samples. The proportion of carbonyl structures in water was significantly lower, and compounds with a hydroxyl group, n-alkanol were common in them. Wood-fluff, sedge and sedge-hypnum peat were enriched with acyclic compounds. Cyclic structures prevailed in the upper peat and one of the transitional peats. It was shown that the composition of cyclic compounds in sphagnum bog peat was dominated by pentacyclic triterpenoids, whereas in transitional mire moss it was dominated by diterpenoids, and in wood-fluff and sedge-hypnum by steroids. The ratio of the individual groups of cyclic compounds in the water of most mires was close to that in the corresponding peat. Only in two mires the ratio between the groups of cyclic structures in water and peat differed.

**Conclusions.** The analysis of the organic compounds composition showed that acyclic compounds in peat and water, along with the n-alkanes prevalence, contained in large quantities compounds with a carbonyl group, such as n-alkane-2-ones, diketones and n-aldehydes, and long-chain esters in water. The composition of cyclic

*compounds of raised peats was dominated by pentacyclic triterpenoids; whereas steroids dominated in the sediment-hypnum lowland and wood-fluff transitional peat, diterpenoids prevailing in the moss transitional peat. Bog waters mostly inheriyyclic compounds of the corresponding peats.*

**Keywords:** raised, transitional and lowland mires; fens; bog water; peat; distribution of organic, acyclic and cyclic compounds.

**How to cite:** Russkikh I.V., Strelnikova, E.B. Serebrennikova O.V., Kharanzhevskaya Yu.A. Comparison of organic compounds content in peat deposits and water of different mire types in the southern taiga subzone of West Siberia. *The Journal of Soils and Environment*. 2025. Vol. 8(4). e326. DOI: [10.31251/pos.v8i4.326](https://doi.org/10.31251/pos.v8i4.326) (in Russian with English abstract).

## FUNDING

The study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (projects Nos.121031500046-7 and No.FNUU-2024-0002).

## REFERENCES

- Gabov D.N., Yakovleva E.V., Vasilevich R.S., Gruzdev I.V. Distribution of n-alkanes in hummocky peatlands of the extreme northern taiga of the European northeast of Russia and their role in paleoclimate reconstruction. *Eurasian Soil Sciences*. 2022. Vol. 55. No. 7. P. 879–894. <https://doi.org/10.1134/s1064229322070043>
- Russkikh I.V., Strelnikova E.B. Dynamics of Two-Year Post-Pyrogenic Restoration of the Composition of Biomolecules in Shrubs in the Southern Taiga of the Tomsk Region. *Chemistry for Sustainable Development*. 2024. Vol. 32. No. 2. P. 183–189. <https://doi.org/10.15372/CSD2024547>
- Savichev O.G. Geochemical parameters of bog waters in the taiga zone of the Western Siberia. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2015. No. 4. P. 47–57. (in Russian). <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-4-47-57>
- Serebrennikova O.V., Gulaya E.V., Strelnikova E.B., Kadychagov P.B., Preis Y.I., Duchko M.A. The chemical composition of typical peat-forming plants lipids of Western Siberia forest zone oligotrophy bogs. *Khimija rastitel'nogo syr'ja*. 2014. No. 1. C. 257–262. (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.1401257>
- Serebrennikova O.V., Duchko M.A., Strelnikova E.B., Koronatova N.G. Concentrations and composition of sphagnum peat lipids depending on temperature in the climatic zones of Western Siberia / O. V. Serebrennikova, M. A. Duchko, N. G. Koronatova, E. B. Strelnikova // *Solid Fuel Chemistry*. 2018. Vol. 52. No. 1. P. 36–43. <https://doi.org/10.3103/S0361521918010081>
- Serebrennikova O.V., Strelnikova E.B., Russkikh I.V., Kharanzhevskaya Yu.A., Voistinova E.S. Seasonal dynamics of distribution of organic compounds in bog waters of the southern taiga (Western Siberia). *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. 2019a. Vol. 27. No. 1. P. 65–72. (in Russian). <https://doi.org/10.15372/KhUR20190110>
- Serebrennikova O.V., Strelnikova E.B., Russkikh I.V. Features of the composition of lipids of sphagnum and brie mosses from various natural and climatic zones. *Khimija rastitel'nogo syr'ja*. 2019b. No. 3. P. 225–234. (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034558>
- Serebrennikova O.V., Strelnikova E.B., Russkikh I.V., Kharanzhevskaya Yu.A., Fedorov D.V. Composition of the organic compounds of different peat types from the southern taiga subzone of Western Siberia. *Solid Fuel Chemistry*. 2023. Vol. 57. No. 1. P. 21–28. <https://doi.org/10.3103/S0361521923020131>
- Strel'nikova E.B., Russkikh I.V., Preis Yu.I. n-Alkanes and n-Alkan-2-ones as lipid biomarkers of high-moor peats and marsh plants in Western Siberia. *Solid Fuel Chemistry*. 2021. Vol. 55. No. 5. P. 321–331. <https://doi.org/10.3103/S0361521921050062>
- 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. P. 367–380. <https://doi.org/10.1134/S0016702912040076>
- Bingham E.M., McClymont E.L., Valiranta M., Mauquoy D., Roberts Z., Chambers F.M., Pancost R.D., Evershed R.P. Conservative composition of n-alkane biomarkers in sphagnum species: implications for palaeoclimate reconstruction in ombrotrophic peat bogs. *Organic Geochemistry*. 2010. Vol. 41. No. 2. P. 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2009.06.010>
- Hunt J.M. *Petroleum Geochemistry and Geology*. San Francisco: Freeman, 1979. 617 p.
- Matas A.J., Sanz M.J., Heredia A. Studies on the structure of the plant wax nonacosan-10-ol, the main component of epicuticular wax conifers. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2003. Vol. 33. No. 1–3. P. 31–35. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(03\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(03)00061-8)

- Naafs B.D.A., Inglis G.N., Blewett J., McClymont E.L., Lauretano V., Xied S., Evershed R.P., Pancost R.D. The potential of biomarker proxies to trace climate, vegetation, and biogeochemical processes in peat: A review. *Global and Planetary Change*. 2019. Vol. 179. P. 57–79. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.05.006>
- Pancost R.D., Baas M., van Geel B., Sinninghe Damste J.S. Biomarkers as proxies for plant inputs to peats: an example from a sub-boreal ombrotrophic bog. *Organic Geochemistry*. 2002. Vol. 33. P. 675–690. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00048-7)
- Pastukhov A., Kaverin D., Loiko S. N-Alkanes in Permafrost Peatlands. *Plants*. 2025. Vol. 14. No. 3. P. 449–470. <https://doi.org/10.3390/plants14030449>
- Peters K.E., Walters C.C., Moldovan J.M. *The Biomarker Guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Systems and Earth History*. Cambridge University Press, 2007. Vol. 2. 704 p.
- Prija A., Gandois L., Jeanneau L., Taillardat P., and Garneau M. Dissolved organic matter concentration and composition discontinuity at the peat-pool interface in a boreal peatland. *Biogeosciences*. 2022. Vol. 19. No. 18. P. 4571–4588. <https://doi.org/10.5194/bg-19-4571-2022>
- Tfaily M.M., Wilson R.M., Cooper W.T., Kostka J.E., Hanson P., Chanton J.P. Vertical Stratification of Peat Pore Water Dissolved Organic Matter Composition in a Peat Bog in Northern Minnesota. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 2018. Vol. 123. No. 2. P. 479–494. <https://doi.org/10.1002/2017JG004007>
- Tulloch A.P. Chemistry of waxes of higher plants. In *chemistry and biochemistry of natural waxes* / P.E. Kolattukudy (ed.). Amsterdam: Elsevier, 1976. P. 235–287.

*Received 05 August 2025*

*Accepted 03 October 2025*

*Published 31 October 2025*

#### **About the authors:**

**Irina V. Russkikh** – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher in the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); [rus@ipc.tsc.ru](mailto:rus@ipc.tsc.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9882-1365>

**Eugenia B. Strelnikova** – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher in the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); [seb@ipc.tsc.ru](mailto:seb@ipc.tsc.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7248-9437>

**Olga V. Serebrennikova** – Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of Natural Transformations of Oil in the Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Tomsk, Russia); [ovs49@yahoo.com](mailto:ovs49@yahoo.com); <https://orcid.org/0000-0003-4085-0598>

**Yulia A. Kharanzhevskaya** – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher in the Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – Branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences; Associate Professor at the National Research Tomsk State University (Tomsk, Russia); [kharan@yandex.ru](mailto:kharan@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9945-0129>

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)