

УДК 553.97:547.91:577.117.2; 577.117.3

## СОСТАВ ЛИПИДОВ ТОРФОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

© 2021 г. О. В. Серебренникова<sup>1,\*</sup>, С. Б. Селянина<sup>2,\*\*</sup>, И. В. Русских<sup>1,\*\*\*</sup>,  
Е. Б. Стрельникова<sup>1,\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, 63405, Томск, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, 163069 Архангельск, Россия

\*e-mail: ovs49@yahoo.com

\*\*e-mail: gumin@fciarctic.ru

\*\*\*e-mail: rus@ipc.tsc.ru

\*\*\*\*e-mail: seb@ipc.tsc.ru

Поступила в редакцию 11.12.2020 г.

После доработки 11.12.2020 г.

Принята к публикации 06.04.2021 г.

Исследованы состав и содержание стероидов, ациклических и циклических терпеноидов, *n*-алканов, жирных кислот, алканолов и полизамещенных фенолов в торфах десяти залежей, расположенных в пределах материковой части Ненецкого АО, Мезенского, Приморского и Онежского районов Архангельской области, а также трех залежей на островах Белого (Немецкий Кузов) и Баренцева (Колгуев и Большой Цинковый) морей. Показано изменение состава липидов в пределах отдельных залежей и в региональном плане: возрастание в пределах большинства залежей содержания пентациклических терпеноидов с увеличением глубины захоронения торфа и появление в нижних частях залежей ароматизированных стероидов, снижение в северном и восточном направлениях концентрации ациклических дитерпеноидов и существенное снижение содержания в торфе всех идентифицированных групп липидов в Заполярье. Выявлены перспективные участки, характеризующиеся наличием торфа с повышенным содержанием биологически активных компонентов.

Ключевые слова: торф, арктическая зона, ациклические и циклические терпеноиды, полизамещенные фенолы, алканы, жирные кислоты, алканолы

DOI: 10.31857/S002311772104006X

Для северных территорий, в частности Европейского Севера России, характерны высокая заболоченность и наличие значительных запасов торфа, большая часть которых не используется, поэтому освоение торфяных ресурсов – одно из основных направлений развития региона.

Для торфяных отложений Арктической зоны Европейской части России характерны специфические условия их образования, к которым можно отнести особенности фотосинтеза растений-торфообразователей и замедленную биогеотрансформацию их остатков в экстремальных условиях холодного климата [1–5]. Это способствует интенсивному синтезу растениями соединений, обладающих теми или иными защитными функциями, и стабильности их в торфяной залежи.

На торфяниках Севера России слабо развита хозяйственная деятельность человека, вследствие чего их можно считать экологически чистым сырьем, что важно при получении из торфа продук-

тов, обладающих биологической активностью, и это позволяет использовать их в лечебных целях.

В совокупности это характеризует торф данного региона как перспективный возобновляемый источник многообразных органических соединений и позволяет прогнозировать возможность получения на его основе уникальных инновационных продуктов широкого спектра действия.

В растениях значительная часть биологически активных веществ с антиоксидантными, антигистаминными, противовирусными, антимикробными, прогормональными свойствами и др. представляет группу липидов – соединений, растворимых в органических жидкостях. К соединениям, проявляющим такие свойства, относятся ациклические [6, 7] и циклические [8–10] терпеноиды, стероиды [11–13], фенольные соединения [14–16]. Их можно экстрагировать из торфа в виде торфяного воска [17]. Составляющие торфяной воск соединения обладают свойствами, ис-

**Таблица 1.** Расположение исследованных залежей и характеристика торфа

Индекс образца	Интервал отбора, см	Содержание, мкг/г торфа		Гомолог, преобладающий в составе <i>n</i> -алканов	Место отбора	Координаты места отбора
		липиды*	<i>n</i> -алканы			
О–9	5–30	85.9	26.7	C <sub>23</sub>	Онежский р-н, с. Порог	63°49' N; 38°32' E
О–10	125–170	144.8	38.5	C <sub>27</sub>		
О–11	5–70	110.1	40.8	C <sub>23</sub>		
О–12	104–260	225.8	41.5	C <sub>27</sub>		
П–2	0–60	108.0	25.6	C <sub>23</sub>	Приморский р-н, р. Зимняя Золотица	65°40' N; 40°24' E
П–3	60–100	116.6	30.6	C <sub>27</sub>		65°41' N; 40°12' E
П–5	0–60	155.5	16.6	C <sub>27</sub>		
П–6	60–100	202.5	29.3	C <sub>23</sub> , C <sub>29</sub>		
П–33	5–50	278.2	41.1	C <sub>31</sub>	Приморский р-н, р. Ульмица	64°52' N; 40°26' E
П–34	50–100	409.1	41.2	C <sub>31</sub>		
П–35	100–200	541.0	73.6	C <sub>27</sub>		
М–20	0–50	109.7	24.5	C <sub>23</sub> , C <sub>31</sub>	Мезенский р-н, пос. Каменка	65°53' N; 44°05' E
М–21	20–50	110.3	16.5	C <sub>23</sub> , C <sub>31</sub>		
М–22	50–100	563.0	114.3	C <sub>29</sub>		
М–24	5–20	120.2	21.7	C <sub>23</sub>	Мезенский р-н, 1 км от г. Мезень	65°52' N; 44°15' E
М–25	20–100	153.7	24.6	C <sub>23</sub>		
М–27	0–10	279.7	25.4	C <sub>31</sub> , C <sub>25</sub>	Мезенский р-н, междуречье р. Мезень и р. Пеза	65°37' N; 44°40' E
М–28	10–60	311.8	30.9	C <sub>31</sub> , C <sub>29</sub>		
Н–30	3–10	17.5	8.1	C <sub>31</sub> , C <sub>29</sub>	НАО, вблизи г. Нарьян-Мар	67°37' N; 53°55' E
Н–31	10–20	110.5	30.9	C <sub>31</sub> , C <sub>29</sub>		
Н–32	20–30	31.5	20.7	C <sub>31</sub> , C <sub>29</sub>		
Н–11	10–30	140.1	8.2	C <sub>23</sub>	НАО, д. Хорей-Вер	67°16' N; 58°42' E
Н–12	30–40	60.7	25.9	C <sub>31</sub> , C <sub>29</sub>		
Н–13	0–13	154.1	12.9	C <sub>31</sub> , C <sub>29</sub>	НАО, р. Сандибей	67°12' N; 57°08' E
Н–23	13–25	147.6	89.0	C <sub>23</sub> , C <sub>25</sub>		
ОНК	0–15	148.8	90.0	C <sub>31</sub>	о. Немецкий Кузов	64°57' N; 35°10' E
ОК	0–15	49.8	36.4	C <sub>31</sub>	о. Колгуев	69°01' N; 49°22' E
ОБЦ	0–15	85.9	17.6	C <sub>31</sub> , C <sub>25</sub>	о. Б. Цинковый	69°52' N; 59°27' E

\*Липиды включают сумму *n*-алканов, жирных кислот, алканолов, стероидов, ациклических и циклических терпеноидов

пользуемыми в медицине, косметологии, животноводстве, растениеводстве [18].

Для разработки оптимальных методов переработки и рационального применения торфяных ресурсов важна оценка каждой залежи на наличие тех или иных биологически активных и других органических компонентов.

Данная работа посвящена исследованию состава липидов торфа арктической зоны России – потенциального источника извлечения полезных веществ.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Состав липидов торфа охарактеризован для 10 залежей, расположенных в пределах материковой части Ненецкого АО, Мезенского, Приморского и Онежского районов Архангельской области, а также для трех залежей, находящихся на островах Белого (Немецкий Кузов) и Баренцева (Колгуев и Большой Цинковый) морей (табл. 1).

Липидные компоненты были выделены из высушенного торфа экстракцией 7%-ного раствора

метанола в хлороформе при 60°C. Состав липидов проанализирован методом хромато-масс-спектрометрии с использованием магнитного хромато-масс-спектрометра *DFS* фирмы *Thermo Scientific* (Германия). Разделение осуществляли на кварцевой капиллярной хроматографической колонке фирмы "*Agilent*" *DB-5MS* 30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм; газ-носитель — гелий, внутренний стандарт — дейтероаценафтен. Температура печи была запрограммирована на интервал от 80 до 300°C (выдержка 30 мин) при скорости 4°C/мин, а температура инжектора поддерживалась при 270°C. Компоненты были идентифицированы с помощью компьютерной программы анализа данных и библиотеки *NIST-05*.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Состав и содержание липидов в торфе во многом зависят от вида растений-торфообразователей, формирующих различные слои залежей [19]. Отражением ботанического состава торфа может служить молекулярно-массовое распределение *n*-алканов, поскольку разнообразие болотных растений различаются по преобладанию в составе *n*-алканов отдельных гомологов [5, 20, 21], а химическая устойчивость этого класса соединений предполагает сохранность их состава в недрах. Доминирование среди *n*-алканов торфа того, или иного гомолога может свидетельствовать о преобладающих растительных остатках, сформировавших этот слой торфа.

Анализ состава *n*-алканов, присутствующих в торфах исследованной территории, показал чередование слоев, сложенных в верхней части большинства залежей остатками преимущественно сфагновых мхов (доминирование *n*-алканов  $C_{23}$  или  $C_{25}$ ) и отличающихся пониженным содержанием липидов (табл. 1). Ниже по разрезу залегает торф, в составе *n*-алканов которого повышена доля  $C_{27}$  и  $C_{29}$ , присущих осоке, зеленым мхам, кустарничкам и деревьям, а также  $C_{31}$  — основной компонент *n*-алканов пушицы [5, 20, 21]. Содержание липидов в этих слоях выше. Торфа Ненецкого АО содержат меньше липидных компонентов по сравнению с торфами Онежского, Приморского и Мезенского районов, расположенных южнее, хотя все они имеют одинаковый состав *n*-алканов.

Аналогично торф с находящегося на юге Белого моря (о. Немецкий Кузов) содержит максимальное количество липидов по сравнению с островами, расположенными севернее.

Содержание в торфах жирных кислот варьирует от 2.4 до 65.4 мкг/г, в среднем — 15.9 мкг/г. Минимальные значения отмечены в ряде торфов Ненецкого АО и островов Баренцева моря, максимальное значение — в торфе нижней части залежи

левого берега р. Мезень (рис. 1). В составе доминирующих в торфах насыщенных кислот  $C_6$ — $C_{26}$  в большинстве преобладает пальмитиновая ( $C_{16}$ ). Широко применяемая в косметике бегеновая кислота ( $C_{22}$ ) в концентрации 2.5—29.0 мкг/г преобладает среди жирных кислот в ряде торфов Онежского и Приморского районов, а также в торфе нижней части залежи на левобережье р. Мезень. Ненасыщенные жирные кислоты зафиксированы практически во всех (кроме двух) исследованных образцах торфа в концентрации от 0.3 до 4.1 (рис. 2,а), в среднем 1.0 мкг/г. Среди них наиболее широко распространена олеиновая кислота, реже встречаются линолевая и гексадециновая.

По содержанию *n*-алкан-2-онов, представленных гомологами  $C_{19}$ — $C_{35}$ , исследованные торфа различаются незначительно (рис. 1). Только в нижних частях залежей в районе р. Ульмица и левого берега р. Мезень зафиксированы повышенные концентрации этих соединений. В подавляющем большинстве торфов в максимальном количестве присутствует гомолог  $C_{27}$ .

Основными компонентами липидов верхней части (5—30 и 5—70 см) залежи торфа болота Большой Мох (Онежский район) являются *n*-алканы. В меньшей концентрации присутствуют  $C_6$ — $C_{26}$  насыщенные жирные кислоты. Содержание липидных компонентов, обладающих биологической активностью, невелико. В их составе незначительно преобладают стероиды (рис. 1,а), а среди них — ситостерол (3.0 мкг/г сухого торфа) и продукты его автоокисления: стигмаст-3.5-диен-7-он (3.9 мкг/г) и стигмаст-4-ен-3-он (4.5 мкг/г). В составе пентациклических тритерпеноидов (ПЦТ) преобладают урсены, в максимальной концентрации присутствуют урс-12-ен (2.0 мкг/г) и  $\alpha$ -амирон (1.5 мкг/г). Содержание фитола, токоферолов и атраровой кислоты — соединений, обладающих антиоксидантной и антиандрогенной активностью [14, 22], также невысоко (1.2, 1.1 и 0.4 мкг/г соответственно). Сескви- и дитерпеноиды присутствуют в очень низкой концентрации (0.1 мкг/г). Несмотря на полезные свойства всех этих классов соединений и перспективность их использования при лечении множества заболеваний [8, 11], они не представляют практического интереса из-за низкой концентрации в торфе этой части залежи.

Торфа интервалов 125—179 и 104—260 см Онежской залежи отличаются пониженной концентрацией жирных кислот и стероидов. В то же время в них содержится значительно больше ПЦТ (61.0 и 116.1 мкг/г), более чем на 87 и 75% представленных лупеноном — представителем тритерпенов лупанового типа, использование которых в терапии приводит к снижению риска развития рака [9]. Выше также концентрация фитола

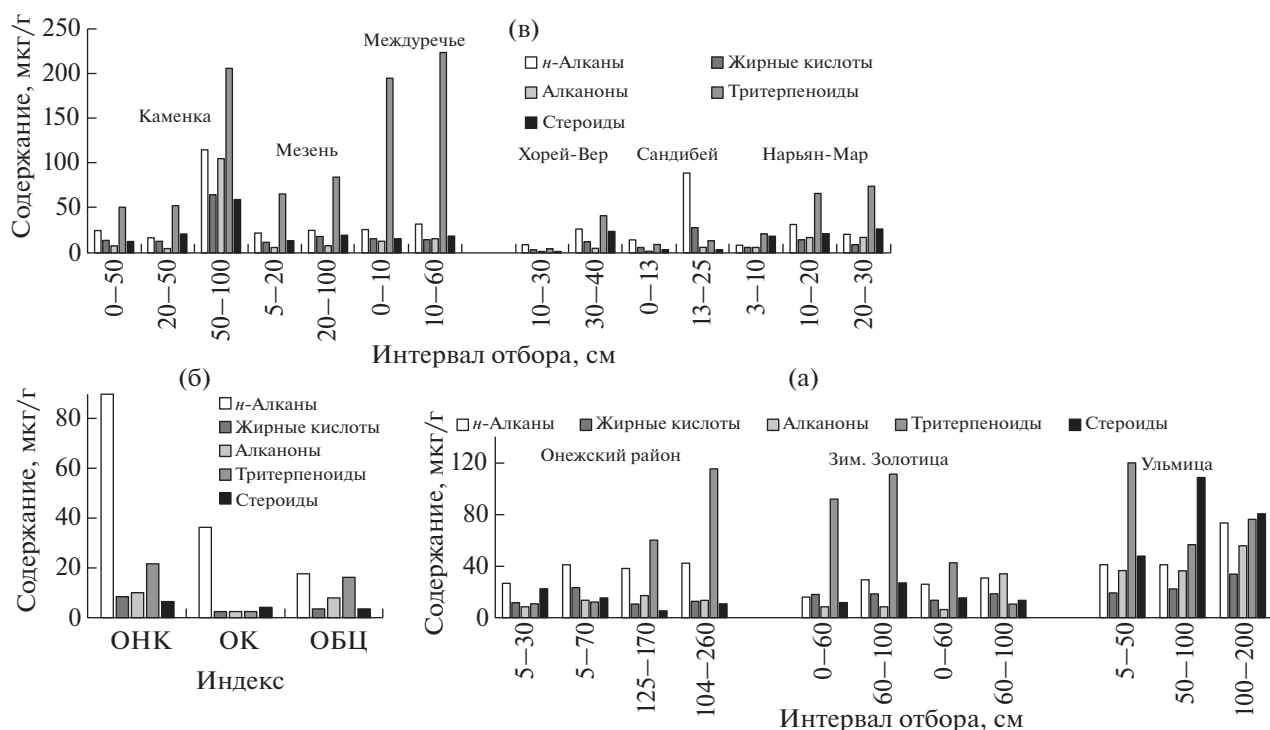


Рис. 1. Распределение основных групп липидов в торфах Онежского и Приморского районов (а), островов Белого и Баренцева морей (б), Мезенского района и Ненецкого АО (в).

(8.6 и 19.1 мкг/г) и дитерпеноидов, представленных производными абиетиновой кислоты (0.6 и 3.3 мкг/г) и обладающих бактерицидными свойствами [22]. В торфе интервала 104–260 см появился стерол с одним ароматическим кольцом внутри цикла – антиаэргостан-5,7,9,24-тетраен-3-ол (0.4 мкг/г).

Для залежи торфа в районе р. Зимняя Золотица Приморского района наблюдается существенное изменение состава липидов по площади. В торфе, отобранном на западе залежи вблизи устьевого части реки Зимняя Золотица, преобладают ПЦТ, содержание которых возрастает, как и в онежской залежи, в нижнем отделе. В интервале 0–60 см доминируют  $\alpha$ - и  $\beta$ -амирины (39.8 и 15.0 мкг/г соответственно), в интервале 60–100 см концентрация  $\alpha$ - и  $\beta$ -амиринов практически не меняется, но более чем в 2 раза возрастает содержание тараксерена (от 8.7 до 20.7 мкг/г). Все эти соединения могут быть использованы в различных направлениях медицины [8, 23, 14]. В концентрации 0.1–1.1 мкг/г в торфе присутствуют дитерпены кауранового типа, которые могут найти применение в терапии сердечно-сосудистых заболеваний [10]. В составе стероидов в верхнем интервале преобладают ситостерол (3.2 мкг/г) и стигмаст-4-ен-3-он (2.9 мкг/г), в нижнем – ситостерол (7.1 мкг/г) и ароматизированный стерол (6.9 мкг/г), который не обнаружен в остальных исследованных образцах торфа этой залежи.

В точке, удаленной на 9.5 км в глубь континента в юго-восточном направлении, содержание липидов в торфе меньше. В верхнем интервале преобладают ПЦТ, в интервале 60–100 см их содержание существенно ниже. Снижается также содержание стероидов, в максимальной концентрации присутствуют ациклические алканоны. В составе ПЦТ преобладают тараксерены (тараксерен – 13.7 мкг/г в интервале 0–60 см и тараксерон – 2.5 мкг/г внизу залежи), в составе стероидов обоих интервалов – ситостерол (4.6–4.1 мкг/г) и стигмаст-4-ен-3-он (4.2–4.0 мкг/г). Дитерпеноиды, присутствующие только в нижнем интервале в концентрации 0.1 мкг/г, представлены производными абиетиновой кислоты.

Основным отличием залежи в районе р. Ульмица является очень высокое содержание стероидов (108.8 мкг/г) в интервале 50–100 см, характеризующемся также аномально высоким содержанием сесквитерпеноидов (61.5 мкг/г). Концентрация стероидов в окружающих слоях торфа составляет 48.4 и 80.2 мкг/г, сесквитерпеноидов – не превышает 1.6 мкг/г. В результате падения концентрации и исчезновения ряда гопаиноидов, присутствующих в торфе в интервале 0–50 см, наблюдается снижение содержания ПЦТ в интервале 50–100 см и затем, на глубине 100–200 см, – некоторое возрастание, обусловленное появлением в составе ПЦТ производных лупана. С увеличением глубины захоронения в торфе су-

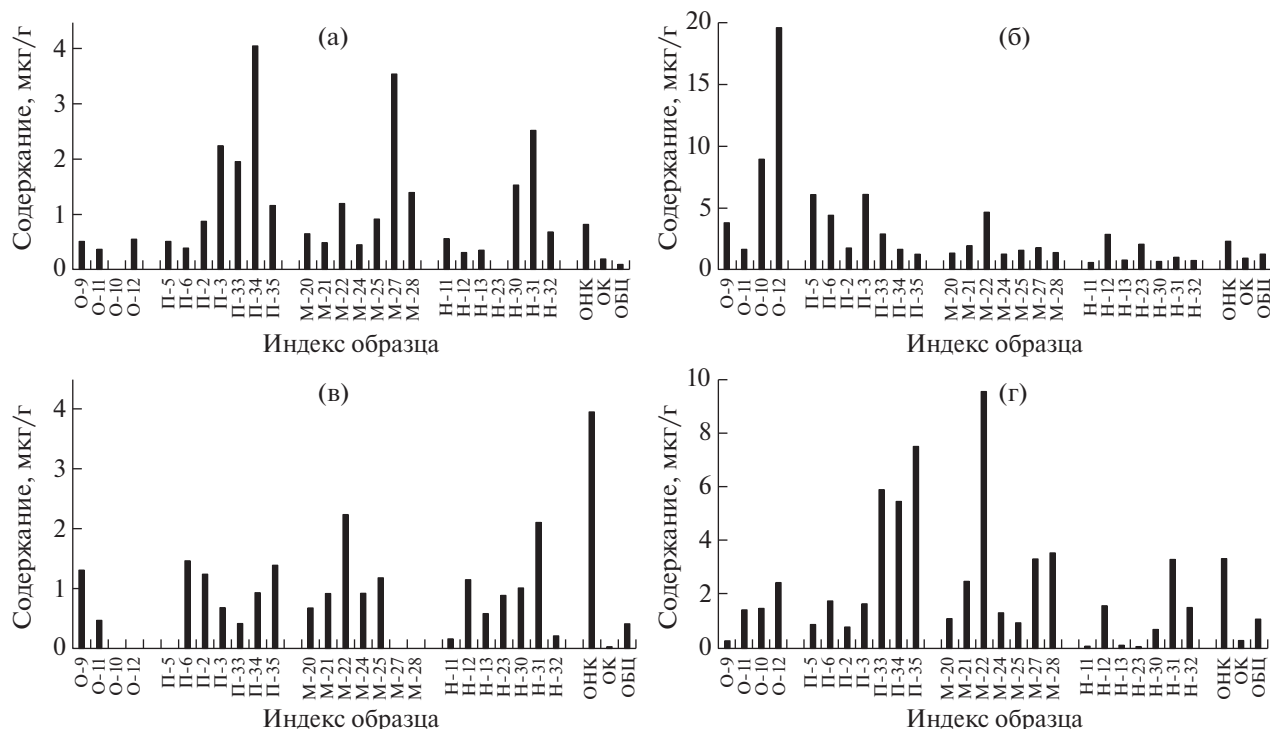


Рис. 2. Распределение ненасыщенных кислот (а), ациклических дитерпеноидов (б), сквалена (в) и полизамещенных фенолов (г) в исследованных торфах.

ущественно увеличивается содержание дитерпеноидов (от 2.0 до 73.9 и 210.1 мкг/г) за счет дополнительного присутствия наряду с производными абиетиновой кислоты, имеющими антибактериальные свойства [22], соединений пимаранового типа, проявляющих вазорелаксантное действие [8]. Вниз по разрезу снижается концентрация ациклических дитерпеноидов (рис. 2,б), возрастает содержание сквалена (рис. 2,в) и незначительно (от 5.9 до 7.4 мкг/г) — полизамещенных фенолов (рис. 2,г) с преобладанием  $\alpha$ -токоферола. Применяемые в парфюмерии сесквитерпеноиды в интервале 50–100 см включают 17 соединений с преобладанием кадиненовых структур, в остальных слоях разреза число этих соединений меньше — преобладает каламенен.

В составе стероидов преобладают кетозамещенные соединения с максимальным содержанием (41.9 мкг/г) стигмаст-4-ен-3-она в интервале 50–100 см и стигмаст-3,5-диен-7-она (13.8 и 18.8 мкг/г) в окружающих слоях. В интервале 5–50 см спирты представлены ситостеролом (5.0 мкг/г) и незначительным количеством моноароматического стерола. Торф интервала 50–100 см отличается от других образцов залежи повышенным содержанием стероидных спиртов, в составе которых наряду с ситостеролом ( $C_{29}$ ) зафиксирован кампестерол ( $C_{28}$ ) в концентрациях 9.8 и 1.1 мкг/г соответственно. Можно также отметить резкое

возрастание содержания ароматизированных стероидов в более глубоко залегающих слоях: от 0.5 мкг/г в интервале 5–50 см до 10.5 и 8.8 мкг/г на глубинах 50–100 и 100–200 см. С увеличением глубины залегания в торфе меняется и состав ПЦТ. В интервале 5–50 см, характеризующемся максимальным содержанием ПЦТ (110.3 мкг/г), в их составе преобладают гопенон (26.2 мкг/г) и тараксерон (22.7 мкг/г). Вниз по разрезу их концентрация снижается, а на глубине 100–200 см гопенон и большинство пергидропиценовых структур исчезают, и в максимальном количестве присутствует не обнаруженный в вышележащих слоях лупенон (12.7 мкг/г).

В Мезенском районе охарактеризованы три залежи торфа, расположенные между реками Мезень и Пеза, на правом (вблизи г. Мезень) и левом (в районе пос. Каменка) берегах р. Мезень.

Торф интервала 20–50 см из залежи на левом берегу р. Мезень незначительно отличается по групповому составу липидов от расширенного за счет приповерхностной части интервала 0–50 см (рис. 1,в). В этих торфах присутствуют только следы сескви- и дитерпеноидов, в составе ПЦТ доминирует тараксерон, а в составе стероидов — ситостерол. В то же время торф интервала 20–50 см содержит немного больше ациклических дитерпеноидов (рис. 2,б), отличается от торфа интервала 0–50 см наличием стигмастерола и ла-

ностерола и более высокой концентрацией ситостерола и кампестерола (2.3 и 9.8 мкг/г и 0.6 и 1.3 мкг/г соответственно).

На глубине 50–100 см состав и содержание липидов в торфе существенно меняются. Возрастает содержание каурановых дитерпенов (0.2 мкг/г) и ПЦТ с преобладанием гопенена (41.6 мкг/г), тараксерона (37.0 мкг/г) и тараксерена (29.5 мкг/г), концентрация стероидов с преобладанием стигмаст-4-ен-3-она (10.9 мкг/г), стигмаст-3,5-диен-7-она (23.6 мкг/г) и ситостерола (8.9 мкг/г), ациклических терпеноидов (рис. 2,б) и, особенно, фенольных антиоксидантов (рис. 2,г). В составе жирных кислот максимум молекулярно-массового распределения смещается с характерной для большинства торфов пальмитиновой кислоты ( $C_{16}$ ) на  $C_{22}$  – бегеновую кислоту (29.0 мкг/г), широко применяемую в косметике.

Торф залежи вблизи г. Мезень (интервалы 5–20 и 20–100 см) достаточно однороден и близок по составу и содержанию отдельных групп и индивидуальных представителей липидов торфу верхней части левобережной залежи, а торф из междуречья обогащен ПЦТ, содержание которых возрастает с увеличением глубины захоронения (рис. 1). Незначительно увеличивается также концентрация стероидов, среди которых появляются ароматизированные производные, но от 3.0 до 2.2 мкг/г снижается содержание ситостерола. В торфах обоих интервалов в составе стероидов отсутствуют стигмастерол и кампестерол, доминирует стигмаст-4-ен-3-он. Вниз по разрезу в торфе несколько снижается концентрация дитерпеноидов кауранового типа (от 1.3 до 0.5 мкг/г), исчезает характерная для плесени атраровая кислота. Сесквитерпеноиды в торфе отсутствуют, в составе ПЦТ на глубине 0–10 см незначительно преобладает тараксерон (26.4 мкг/г), а на глубине 10–60 см – тараксерен (86.2 мкг/г) и неогоп-13(18)-ен (64.0 мкг/г).

Торфа Ненецкого АО отличаются пониженным содержанием липидов, среди которых в торфах из района г. Нарьян-Мар и нижнего интервала залежи вблизи д. Хорей-Вер в максимальной концентрации присутствуют ПЦТ. Торф из района р. Сандибей обогащен *n*-алканами.

Торф, залегающий вблизи г. Нарьян-Мар, в интервале 3–10 см характеризуется низкой концентрацией липидов, тем не менее содержит широкое разнообразие стероидов: наряду с ситостеролом и его производными, в торфе присутствуют также ацетат ланостерола, стигмастерол и кампестерол. В составе ПЦТ преобладает D : A-фриеодолеан-6-ен. Вниз по разрезу концентрация липидов увеличивается. В интервале 10–20 см повышено содержание сквалена (рис. 2,в). В составе фенольных соединений преобладает усниновая кислота (2.2 мкг/г), характеризующаяся антими-

робным действием [14]. Дитерпеноиды (1.7 мкг/г) представлены соединениями кауранового типа. ПЦТ включают преимущественно тараксерол (22.0 мкг/г) и тараксерон (16.7 мкг/г), стероиды – стигмаст-4-ен-3-он (5.0 мкг/г). Содержание фитола и сесквитерпеноидов невелико (0.5 и 0.1 мкг/г), из состава стероидов исчезли стигмастерол и кампестерол. Дальнейшее увеличение глубины захоронения (интервал 20–30 см) сопровождается снижением содержания усниновой кислоты до 0.4 мкг/г, дитерпенов – до 0.7 мкг/г. Концентрация фитола и токоферолов остается неизменной, а ПЦТ – несколько возрастает за счет увеличения содержания тараксерона (27.5 мкг/г), увеличивается также содержание стероидов, в частности производных ланостерола (от 0.2 до 5.0 мкг/г), которые, как показано в [24], могут быть использованы для создания препаратов для предотвращения нейродегенеративных заболеваний.

В торфе, залегающем вблизи д. Хорей-Вер, содержание липидов в интервале 10–30 см очень мало, среди них преобладают *n*-алканы. Сесквитерпены отсутствуют, концентрация дитерпенов кауранового типа составляет 0.7 мкг/г, фенолов, представленных  $\alpha$ -токоферолом и атраровой кислотой – 0.6 мкг/г. В составе ПЦТ преобладает тараксерен (1.7 мкг/г), в составе стероидов – производные ланостерола (0.4 мкг/г). В торфе нижележащего интервала 30–40 см появляются сесквитерпеноиды, концентрация всех групп липидов резко возрастает, хотя и не достигает значений, присущих торфу из расположенного западнее района г. Нарьян-Мар. Индивидуальный состав соединений остается практически неизменным за исключением ПЦТ, в составе которых на этом участке разреза преобладает тараксерон (13.9 мкг/г).

В районе р. Сандибей содержание липидов в торфе с преобладанием *n*-алканов также невелико, но немного выше, чем в районе д. Хорей-Вер. Их состав в интервале 0–13 см аналогичен зафиксированному в интервале 10–30 см хорей-верского торфа. В интервале 13–25 см возрастает содержание *n*-алканов, ПЦТ, фитолов и сквалена, снижается концентрация стероидов, исчезают дитерпеноиды.

Исследованные торфа с островов Белого и Баренцева морей характеризуются невысокой концентрацией липидных компонентов с преобладанием среди них *n*-алканов.

Торф, залегающий на о. Немецкий Кузов (юг Белого моря, Карелия), отличается от торфов с островов Баренцева моря более высоким содержанием липидов, в частности заметным количеством дитерпеноидов (1.5 мкг/г) и сесквитерпеноидов (1.0 мкг/г). Дитерпеноиды преимущественно представлены производными абиетиновой и дегидроабиетиновой кислот, 8,13-эпокси-лабд-14-енами, а в максимальной концентрации при-

сутствует эпиманол (0.7 мкг/г). В составе сесквитерпеноидов преобладают кадиновые структуры, наблюдается высокое содержание сквалена (рис. 2,в), обнаружена повышенная концентрация ПЦТ (рис. 1,б). Основными соединениями ПЦТ являются  $\alpha$ -амирон (5.1 мкг/г) и тараксерон (4.5 мкг/г). В составе стероидов отсутствуют спирты, в максимальной концентрации зафиксирован стигмаст-4-ен-3-он. Фенолы включают атраровую кислоту,  $\alpha$ - и  $\gamma$ -токоферолы и, в отличие от материковых торфов, ацетат  $\alpha$ -токоферола.

В торфе о. Колгуев отсутствуют сесквитерпеноиды, очень низка концентрация сквалена, дитерпеноиды (0.04 мкг/г) представлены ретенем и метиловым эфиром дегидроабетиновой кислоты. Содержание стероидов превышает концентрацию ПЦТ. В их составе доминируют кетозамещенные с максимальным содержанием (1.8 мкг/г) стигмастан-3-она (5 $\beta$ ). Единственный обнаруженный представитель спиртов – ситостерол – присутствует в следовом количестве. В составе ПЦТ, включающих производные гопана, олеана и лупана, превалируют гопан-3-он (0.4 мкг/г) и диплоптен (0.3 мкг/г). Фенолы представлены атраровой кислотой (0.04 мкг/г), этиловым эфиром орселлиновой кислоты (0.02 мкг/г),  $\alpha$ -токоферолом (0.22 мкг/г) и его ацетатом (0.05 мкг/г). По сравнению с торфом о. Немецкий Кузов доля ацетата токоферола в торфе о. Колгуев повышена.

Торф о. Большой Цинковый характеризуется аналогичным торфу о. Колгуев составом фенолов, но их концентрация выше: атраровая кислота – 0.15 мкг/г, этиловый эфир орселлиновой кислоты – 0.15 мкг/г,  $\alpha$ -токоферол – 0.59 мкг/г и его ацетат – 0.14 мкг/г. В отличие от торфа о. Колгуев, на о. Большом Цинковом содержание ПЦТ превышает содержание стероидов. В составе ПЦТ торфа присутствует широкое разнообразие мононенасыщенных и насыщенных (17 $\beta$ , 21 $\beta$ ) углеводородов ряда гопана, но в максимальной концентрации присутствует фриделан-3-он (5.2 мкг/г). Относительно остальных ПЦТ, кроме того, повышена концентрация диплоптена (3.5 мкг/г) и  $\alpha$ -амирона (2.4 мкг/г). В составе стероидов спиртов не обнаружено, среди кетозамещенных максимально содержание стигмаст-4-ен-3-она – 1.0 мкг/г и стигмастан-3-она (5 $\alpha$ ) – 0.9 мкг/г.

## ВЫВОДЫ

Анализ особенностей распределения стероидов, ациклических и циклических терпеноидов, *n*-алканов, жирных кислот, алканонов и полизамещенных фенолов в торфах десяти залежей, расположенных в пределах материковой части Ненецкого АО, Мезенского, Приморского и Онежского районов Архангельской области, а также трех залежей на островах Белого (Немецкий Кузов) и Баренцева (Колгуев и Большой Цинковый)

морей, показал, что в пределах большинства залежей, за исключением района р. Ульмица в Приморском районе, с увеличением глубины захоронения торфа возрастает содержание пентациклических тритерпеноидов. В нижних частях залежей зафиксированы ароматизированные стероиды, отсутствующие в верхних слоях.

В северо-восточном направлении исследованной территории в торфах снижается концентрация ациклических дитерпеноидов, а торфа Заполярья отличаются существенно меньшим содержанием всех идентифицированных групп липидов. В отличие от материковых, в островных торфах присутствует ацетат  $\alpha$ -токоферола, доля которого по отношению к  $\alpha$ -токоферолу повышена в торфах островов Баренцева моря.

Выявлены перспективные участки, характеризующиеся наличием торфа с повышенным содержанием биологически активных компонентов:

– торфа залежи в районе р. Ульмица Приморского района обогащены ситостеролом, способным снижать повреждение ДНК и уровень свободных радикалов, и применяемым при заболеваниях сердца, гиперхолестеринемии, модуляции иммунной системы, в профилактике онкологических заболеваний и дитерпеноидами пимаранового типа, проявляющими вазорелаксантное действие. В торфах, залегающих вблизи р. Зимняя Золотица, повышено содержание  $\alpha$ - и  $\beta$ -амиринов и их кетозамещенных производных, проявляющих противосудорожный, антидепрессивный, гастро- и гепатопротекторный эффекты;

– из торфа залежи в левобережье р. Мезень могут быть извлечены заметные количества ситостерола и общепризнанного антиоксиданта – токоферола, а также широко применяемой в косметике бегеновой кислоты и алканонов, которые могут быть использованы в различных отраслях промышленности. Кроме того, в торфах Мезенского района зафиксировано максимальное количество тараксерона, оказывающего на человеческий организм анальгетическое и противовоспалительное действие;

– в торфах нижней части Онежской залежи отмечено высокое содержание лупенона – представителя тритерпеноидов лупанового типа, использование которых в терапии приводит к снижению риска развития рака;

– в приповерхностном торфе залежи вблизи г. Нарьян-Мар в заметной концентрации присутствует усниновая кислота, обладающая антимикробным действием, в нижней части залежи – производные ланостерола, которые могут быть использованы для создания препаратов, способствующих предотвращению нейродегенеративных заболеваний.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Результаты исследований получены в рамках государственного задания ИХН СО РАН, финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (НИОКТР 121031500046-7), и по проекту РФФИ (18-05-70087).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бамбалов Н.Н. Природные ресурсы. 2005. № 1. С. 44.
2. Лиштвак И.И., Цыганов А.Р., Томсон А.Э., Стригуцкий В.П., Соколова Т.В., Пехтерева В.С., Прохоров С.Г., Селянина С.Б., Труфанова М.В. // ХТТ. 2017. № 5. С. 34. [Solid Fuel Chemistry, 2017. V. 51. № 5. P. 296].  
<https://doi.org/10.3103/S0361521917050093>  
<https://doi.org/10.7868/S002311771705005X>
3. Селянина С.Б., Труфанова М.В., Ярыгина О.Н., Орлов А.С., Пономарева Т.И., Титова К.В., Зубов И.Н. // Тр. Ин-та биологии внутренних вод РАН. 2017. № 79 (82). С. 200.
4. Серебряникова О.В., Дучко М.А., Коронатова Н.Г., Стрельникова Е.Б. // ХТТ. 2018. № 1. С. 38. [Solid Fuel Chemistry, 2018. № 52. P. 36].  
<https://doi.org/10.3103/S0361521918010081>  
<https://doi.org/10.7868/S0023117718010085>
5. Серебряникова О.В., Стрельникова Е.Б., Русских И.В. // Химия растительного сырья. 2019. № 3. С. 225. [Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya, 2019. № 3. P. 225].  
<https://doi.org/10.14258/jcprpm.2019034558>
6. Музалевская Е.Н., Мирошниченко Л.А., Николаевский В.А., Ушаков И.Б., Чернов Ю.Н., Алабовский В.В., Батищева Г.А., Бузлама А.В. // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2015. Т. 78. № 6. С. 30.
7. McGinty D., Letizia C.S., Api A.M. // Food Chem. Toxicol. 2010. 48: P. 59.  
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.012>
8. Nogueira A.O., Oliveira Y.I.S., Adjafre B.L., de Moraes M.E.D., Aragão G.F. // Fundam. Clin. Pharmacol. 2019. V. 33. № 1. P. 4.  
<https://doi.org/10.1111/fcp.12402>
9. Wal A., Rai A., Wal P., Sharma G. // Syst. Rev. Pharm. 2011. V. 2. № 2. P. 96.  
<https://doi.org/10.4103/0975-8453.86298>
10. Tirapelli C.R., Ambrosio S.R., de Oliveira A.M., Tostes R.C. // Fitoterapia. 2010. V. 81. № 7. P. 690.  
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2010.05.018>
11. Saeidnia S., Manayi A., Gohari A.R., Abdollahi M. // Eur. J. Med. Plants. 2014. V. 4. № 5. 590.  
<https://doi.org/10.9734/EJMP/2014/7764>
12. Никитина С.А. Состав и свойства тритерпеноидных, стероидных и сопутствующих им соединений *INONOTUS OBLIQUUS*: Дис. ... канд. хим. наук. Казань: КНИТУ, 2015. 139 с.
13. St-Onge M.-P., Lamarche B., Mauger J.-F., Jones P.J.H. // J. Nutr. 2003. № 133. P. 1815.  
<https://doi.org/10.1093/jn/133.6.1815>
14. Papaioannou M., Schleich S., Prade I., Degen S., Roell D., Schubert U., Tanner T., Claessens F., Matusch R., Bani Ahmad A. // J. Cell. Mol. Med. 2009. V. 13. № 8 V. P. 2210.  
<https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2008.00426.x>
15. Подтероб А.Б. Химический состав лишайников и их применение // Химико-фармацевтический журн. 2008. Т. 42. № 10. С. 32.
16. Klein E.A., Thompson I.M.Jr., Tangen C.M., Crowley J.J., Lucia M.S., Goodman P.J., Minasian L.M., Ford L.G., Parnes H.L., Gaziano J.M., Karp D.D., Lieber M.M., Walther P.J., Klotz L., Parsons J.K., Chin J.L., Darke A.K., Lippman S.M., Goodman G.E., Meyskens F.L.Jr., Baker L.H. // JAMA. 2011. V. 306. № 14. P. 1549.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2011.1437>
17. Белькевич П.И., Голованов Н.Г., Демидович Е.Ф. Битумы торфа и бурого угля. Минск: Наука и техника, 1989. 127 с.
18. Томсон А.Э., Наумова Г.В. Торф и продукты его переработки. Минск: Беларус. навука, 2009. 328 с.
19. Дучко М.А. Геохимия биомаркеров в торфах юго-восточной части Западной Сибири: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск: ИХН СО РАН, 2017. 149 с.
20. Серебряникова О.В., Гулая Е.В., Стрельникова Е.Б., Кадычагов П.Б., Преис Ю.И., Дучко М.А. // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С. 257.
21. Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V., Preis Ju.I., Duchko M.A. // Rus. J. Bioorg. Chem. 2017. V. 43. № 7. P. 760.  
<https://doi.org/10.1134/S1068162017070159>
22. Helfenstein A., Vahermo M., Nawrot D.A., Demirci F., İşcan G., Krogerus S., Yli-Kauhaluoma J., Moreira V.M., Tammela P. // Bioorg. Med. Chem. 2017. V. 25. № 1. P. 132.  
<https://doi.org/10.1016/j.bmc.2016.10.019>
23. Chang T.N., Huang S.S., Chang Y.S., Chang C.I., Yang H.L., Deng J.S., Kuo Y.H., Huang G.J. // J. Agricult. Food Chem. 2011. V. 59. № 17. P. 9112.  
<https://doi.org/10.1021/jf201375u>
24. Yang X., Chen X.-J., Yang Z., Xi Yi-Bo, Wang L., Wu Y., Yan Y.-B., Rao Y. // Med. Chem. 2018. V. 61. № 19. P. 8693.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.8b00705>