

УДК 622.331.2: 553.972: 665.36: 542.61

ТОРФ КАК ИНФОРМАТИВНЫЙ БИОМАРКЕР СОСТОЯНИЯ ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

© 2021 г. И. И. Лиштван^{1,*}, С. Б. Селянина^{2,**}, М. В. Труфанова^{2,***}, Т. В. Соколова^{1,****},
Н. Е. Сосновская^{1,*****}, И. Н. Зубов^{2,*****}, О. Н. Яригина^{2,*****}

¹ ГНУ “Институт природопользования НАН Беларуси”, 220076 Минск, Республика Беларусь

² ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова
УрО РАН, 163000 Архангельск, Россия

*e-mail: info@natur-nas.by

**e-mail: gumin@fciactic.ru

***e-mail: mtrufanova@yandex.ru

****e-mail: tomsok49@tut.by

*****e-mail: natalisosnov@mail.ru

*****e-mail: zubov.ivan@bk.ru

*****e-mail: olga.yarigina@gmail.com

Поступила в редакцию 23.11.2020 г.

После доработки 23.11.2020 г.

Принята к публикации 03.02.2021 г.

На примере типичного для дистрофных торфяных болот южноприбеломорского типа Иласского массива при сравнении с торфяными месторождениями Западной Сибири и Республики Беларусь выявлены принципиальные отличия в особенностях формирования органической части торфяных отложений. Показано, что торф может служить информативным биомаркером состояния торфяно-болотных экосистем. Выявлено, что в условиях умеренно-континентального климата температурный режим благоприятен для процессов гумификации растительного материала, что обуславливает более высокую степень разложения, повышенное содержание конденсированных структур в продуктах биотрансформации и наличие водорастворимых сахаров в составе природной матрицы торфа. Аналогичное воздействие оказывает изменение гидрологических условий, в частности осушение. Под влиянием холодного климата Европейского Севера России обедняется состав экстрактивных веществ, продуцируемых растениями-торфообразователями, и замедляются процессы биогеотрансформации растительного материала при формировании олиготрофных залежей торфа.

Ключевые слова: *групповой состав торфа, торфяные болота, гуминовые вещества, битумы торфа, биотрансформация*

DOI: 10.31857/S0023117721040034

ВВЕДЕНИЕ

Торфяно-болотные экосистемы широко распространены в северном полушарии (Северная Америка, Россия и Скандинавия) в местах отступления последнего оледенения [1–3]. В России заболоченность территории превышает 20% [3], причем две трети болот и заболоченных земель сосредоточены на севере страны [4]. Торфяные месторождения, аккумулирующие растительные остатки, с одной стороны выступают ценным сырьем для получения энергии и органических соединений [5–7], а с другой, во многом определяют климат всей планеты [1, 8]. В настоящее время интересы России по освоению север-

ных регионов продвигаются на высшем уровне [9]. Вместе с тем природные комплексы Севера чувствительны к любым дестабилизирующим воздействиям [10]. Это требует особого внимания к изменчивости болотных природных комплексов под воздействием природных и антропогенных факторов, к обеспечению высокого уровня экологической безопасности при освоении территорий, рациональному использованию ресурсов и восстановлению биогеоценозов, снижению риска аварий и катастроф.

Специфика болотных процессов обусловлена сочетанием свойств исходных растений и продуктов их биогеотрансформации [11, 12]. Вполне закономерно, что состав, структура и свойства

торфяных отложений определяются, с одной стороны, видовым разнообразием растений, спецификой синтеза и накопления в них соединений при вегетации, а с другой, зависящими от внешних условий особенностями биохимических превращений растительных тканей после их отмирания [13, 14]. Соответственно, для торфа характерны большое разнообразие и лабильность органических компонентов, среди которых выделяют те же группы, что и в растениях: экстрактивные вещества, называемые также торфяными битумами (или, в некоторых публикациях, липидами); водорастворимые, легко- и трудногидролизуемые соединения; лигнин, а кроме того, комплекс продуктов биогетотрансформации – гуминовые вещества [15]. Происходящие в природе процессы биосинтеза и трансформации органических веществ зависят от многих факторов, в том числе абиотических, биотических и антропогенных. Поэтому можно ожидать достаточно устойчивого и специфического отклика компонентного состава торфа при воздействии на торфяно-болотные экосистемы, вызывающие изменения гидрологии, структурных особенностей торфяной залежи, загрязнении органическими и минеральными поллютантами и так далее. Это, однако, требует экспериментального подтверждения. Освоение заболоченных территорий обязательно сопровождается гидромелиоративными мероприятиями.

Настоящее исследование посвящено сравнительному анализу группового и компонентного состава торфа верховых болот различных климатических зон, а также его изменениям в результате гидромелиорации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Репрезентативные образцы торфа для исследования отбирались с ненарушенного и осушенного участков грядово-мочажинного комплекса верхового олиготрофного торфяно-болотного массива “Иласский”, считающегося типичным для дистрофных торфяных болот южноприбеломорского типа, подробное описание которого представлено в [16]. Болотный массив расположен в субарктической морской климатической подзоне. Как и большинство верховых олиготрофных торфяных месторождений Архангельской области, они характеризуются высокой однородностью ботанического состава по всей толщине залежи [17]. В качестве образцов сравнения использовался торф месторождений Республики Беларусь (умеренно-континентальный климат) и Западной Сибири (континентальный климат) со сходными ботаническим составом (медиум-торф), степенью разложения и физико-химическими показателями.

Описание образцов и определение степени разложения (R) торфа выполняли в полевых условиях согласно [15, 18], зольность (A) определяли по [19]. Для получения данных о групповом составе торфа использовали аттестованную методику [20], согласно которой торф последовательно разделяли на групповые компоненты: водорастворимые вещества (ВРВ), битумы (Б), гуминовые вещества в кислой форме (ГФК), легкогидролизуемые (ЛГВ) и трудногидролизуемые (ТГВ) вещества, негидролизуемый остаток (НГО). ГФК, в свою очередь, фракционировали на гуминовые кислоты (ГК) и фульвокислоты (ФК) и рассчитывали их соотношение (ГК/ФК). Содержание углерода (С), водорода (Н) и азота (N) в образцах торфа определяли методом сжигания на элементном анализаторе *EuroEA 3000 CHN (Eurovector, S.p. A.)*, содержание серы (S) – методом мокрого сжигания [21], а содержание кислорода (O) вычисляли по разности. Для выяснения роли отдельных элементов в построении молекул рассчитаны атомные соотношения Н/С и О/С.

Для сравнительной характеристики состава битумов их экстрагировали из образцов торфа этоксиэтаном методом дефлегмации с настаиванием. Выбор растворителя обусловлен его селективностью и высокой извлекающей способностью в отношении большинства подобных соединений, а также низкой температурой кипения (34.6°C), что позволяет предотвратить термические изменения в составе выделяемых компонентов [22].

В битумах, полученных из образцов торфа с градацией по глубине залегания, определяли кислотное число в соответствии с [23] и число омыления согласно [24], характеризующих содержание свободных кислот и сложных эфиров. Битумы торфа фракционировали методом экстракции [25] на свободные кислоты и нейтральные соединения, а последние, в свою очередь, разделяли путем омыления гидроксидом натрия с последующей экстракцией этоксиэтаном на нейтральные соединения и связанные кислоты. Компонентный состав битумной части анализировали методами газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) образцов битумов [36] в сочетании с газожидкостной хроматографией (ГЖХ) отдельных фракций (свободных и связанных кислот, неомыляемых соединений) [27].

Спектральные исследования водных вытяжек торфа выполняли на УФ-спектрофотометре *UV-1800 (Shimadzu, Япония)* в спектральном диапазоне 200–800 нм. Извлечение водорастворимых компонентов торфа проводили в течение заданного времени дистиллированной водой при гидромодуле (ГМ) 1 : 100 (в пересчете на а.с.в.).

Таблица 1. Характеристика образцов верхового торфа, сформированного в различных условиях

Глубина залежи, см	R, %	A, %	Компонентный состав торфа, % на органическую массу						ГК/ФК	Источник
			Б	ГФК	ВРВ	ЛГВ	ТГВ	НГО		
Европейский Север (Ненарушенный участок Иласского болотного массива)										
5–15	10–15	2.9 ± 0.1	1.7 ± 0.05	9.9 ± 0.1	0.7 ± 0.2	50.1 ± 1.2	18.2 ± 1.2	19.5 ± 0.3	1.2	ЭД*
15–75	5–10	1.6 ± 0.05	2.3 ± 0.05	10.0 ± 0.1	1.1 ± 0.1	50.1 ± 0.5	16.8 ± 0.2	19.7 ± 0.2	1.4	ЭД*
75–100	20–25	0.7 ± 0.1	3.8 ± 0.1	14.3 ± 1.5	0.8 ± 0.1	39.3 ± 0.4	22.95 ± 0.4	19.7 ± 0.7	9.2	ЭД*
100–150	10–15	0.9 ± 0.05	4.0 ± 0.1	14.2 ± 0.1	0.5 ± 0.2	35.5 ± 0.4	21.64 ± 0.4	24.7 ± 1.3	4.3	ЭД*
150–200	15–20	0.9 ± 0.05	6.3 ± 0.1	15.8 ± 0.3	0.9 ± 0.1	41.8 ± 0.7	10.95 ± 0.2	25.2 ± 0.9	4.2	ЭД*
200–250	20–25	1.0 ± 0.05	6.0 ± 0.1	17.0 ± 0.7	0.9 ± 0.1	27.8 ± 0.1	32.1 ± 0.1	17.2 ± 2.1	5.9	ЭД*
Европейский Север (Осушенный участок Иласского болотного массива)										
5–15	10–15	3.5 ± 0.2	3.12 ± 0.2	23.5 ± 0.4	2.87 ± 0.2	41.3 ± 0.7	22.5 ± 0.7	9.5 ± 0.8	1.5	ЭД*
15–30	15–20	2.4 ± 0.2	3.2 ± 0.1	28.4 ± 0.1	7.55 ± 0.2	32.4 ± 0.4	28.8 ± 0.4	7.19 ± 0.3	3.2	ЭД*
30–40	10–15	0.6 ± 0.1	2.04 ± 0.2	10.3 ± 0.3	0.89 ± 0.1	50.2 ± 0.5	25.4 ± 0.5	12.2 ± 0.9	13.7	ЭД*
40–60	20–25	2.1 ± 0.1	10.1 ± 0.2	30.9 ± 0.7	10.2 ± 0.4	24.2 ± 0.2	29.5 ± 0.2	5.28 ± 0.8	8.6	ЭД*
Республика Беларусь										
–	5	–	1.6	13.8	7.4	45.5	26.0	5.7	–	[6]
–	5–10	2.1	1.4	12.8	7.6	46.7	26.5	5.0	–	[22]
–	10–15	2.6	2.8	19.8	5.2	39.7	25.3	7.2	–	[22]
20–70	20–25	12.8 ± 0.2	3.5 ± 0.1	17.6 ± 0.7	1.7 ± 0.1	51,8 ± 1.1		25.4 ± 0.9	0.4	ЭД*
20–70	20–25	9.3 ± 0.1	5.1 ± 0.2	32.0 ± 0.5	1.4 ± 0.1	35.7 ± 0.7		25.8 ± 0.7	0.6	ЭД*
Западная Сибирь										
–	7	–	4.2	29.3	49.5		11.0	5.9	0.7	[23]
–	7	1.6	4.2	30.9	4.0	46.8	7.6	6.5	0.8	[24]
–	7	2.5	3.4	31.5	3.4	39.7	11.7	8.5	0.7	[24]
20–70	15–20	5.1 ± 0.2	4.5 ± 0.2	44.0 ± 0.4	0.4 ± 0.1	16.1 ± 0.3	4.7 ± 0.2	30.4 ± 0.5	0.3	ЭД*
20–70	20–25	9.3 ± 0.4	2.4 ± 0.1	41.6 ± 0.5	–	–	–	–	0.2	ЭД*
–	30	3.0	8.5	43.1	4.0	30.4	6.7	6.8	1.5	[24]

* ЭД – экспериментальные данные, полученные авторами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данные о степени разложения, зольности и групповом составе торфа, сформированного в различных условиях, представлены в табл. 1, где также приведены сведения из открытых источников [6, 28–31], опубликованные ранее другими авторами.

Из данных, представленных в табл. 1, следует, что степень разложения (*R*) в визуально различных характеристических горизонтах не превышает 25% и при этом изменяется с глубиной залежи не монотонно. Зольность образцов не имеет четко выраженных трендов и у большей части образцов не превышает 6%, как это и свойственно торфяным отложениям олиготрофных болот. При рассмотрении группового состава торфа можно выделить ряд закономерностей. Для торфа, сформированного в условиях Севера, характерно пониженное содержание гуминовых веществ по сравнению с образцами из регионов с более теп-

лым климатом, а также с осушенного участка Иласского болотного массива.

В табл. 2 приведены данные элементного состава и атомных соотношений образцов верхового торфа, сформированного в различных условиях, а также образцов торфа с ненарушенного и осушенного участков Иласского болотного массива в сопоставлении с ранее опубликованными данными для верхового торфа Республики Беларусь [6, 22] и Западной Сибири [24].

В торфе осушенного торфяно-болотного участка Архангельской области наблюдается в 2 раза большее количество гуминовых веществ, чем в торфе ненарушенного болотного участка (табл. 1). Этот факт указывает на активизацию процессов биотрансформации в результате осушения залежей. Органическое вещество в торфяных отложениях, как ненарушенного, так и осушенного участков можно отнести в верхних горизонтах к фульватно-гуматному типу ($C_{ГК}/C_{ФК} = 1.2–1.5$), а в ниж-

Таблица 2. Элементный состав и атомные соотношения образцов верхового торфа, сформированного в различных условиях

Глубина залежи, см	Степень разложения образца	Элементный состав, % горючей массы торфа					Атомные соотношения			Источник
		C	H	N	O	S	H/C	O/C	N/C	
Европейский Север (Ненарушенный участок Иласского болотного массива)										
0–5	0	42.60 ± 0.70	6.59 ± 0.20	1.87 ± 0.10	45.30 ± 0.80		1.85	0.79	0.038	ЭД*
5–15	10–15	44.70 ± 0.90	6.61 ± 0.15	1.79 ± 0.20	43.80 ± 0.90		1.77	0.73	0.034	ЭД*
20–70	5–10	45.40 ± 0.40	6.80 ± 0.22	1.22 ± 0.05	45.20 ± 0.30		1.79	0.74	0.023	ЭД*
–	10–15	46.20 ± 0.50	6.00 ± 0.10	0.17 ± 0.02	45.9 ± 0.2	0.30 ± 0.02	1.56	0.75	0.003	ЭД*
Европейский Север (Осушенный участок Иласского болотного массива)										
0–5	0	53.26 ± 0.90	6.70 ± 0.12	1.40 ± 0.02	38.64 ± 0.08		1.51	0.53	0.023	ЭД*
–	10–15	42.00 ± 0.75	5.70 ± 0.10	0.49 ± 0.03	47.70 ± 0.10	0.40 ± 0.01	1.63	0.85	0.010	
5–15	10–15	53.05 ± 0.85	6.53 ± 0.07	1.11 ± 0.05	39.31 ± 0.12		1.48	0.55	0.018	ЭД*
15–30	15–20	53.15 ± 0.60	6.70 ± 0.10	1.15 ± 0.12	39.00 ± 0.52		1.51	0.54	0.019	ЭД*
30–40	10–15	49.11 ± 0.60	6.33 ± 0.24	0.56 ± 0.03	44.00 ± 0.45		1.55	0.66	0.010	ЭД*
40–60	25–30	51.33 ± 0.45	6.60 ± 0.18	1.03 ± 0.05	41.04 ± 0.06		1.54	0.59	0.017	ЭД*
Республика Беларусь										
–	5	48.30 ± 0.90	5.70 ± 0.04	0.90 ± 0.05	45.10 ± 0.05		1.42	0.70	0.016	[22]
–	15	49.30 ± 0.70	5.80 ± 0.07	1.20 ± 0.03	43.20 ± 0.07		1.41	0.65	0.021	[22]
Западная Сибирь										
–	7	53.50 ± 1.10	5.89 ± 0.21	1.26 ± 0.07	39.20 ± 0.20	0.15 ± 0.01	1.32	0.55	0.020	[24]
–	7	53.00 ± 0.60	4.81 ± 0.30	1.09 ± 0.10	35.30 ± 0.80	0.15 ± 0.03	1.09	0.58	0.018	[24]
–	30	57.10 ± 0.90	5.67 ± 0.20	1.73 ± 0.04	41.00 ± 0.50	0.15 ± 0.02	1.19	0.46	0.026	[24]

* ЭД – экспериментальные данные, полученные авторами.

них – к гуматному, что коррелирует с ростом степени разложения торфа. При этом состав органического вещества торфа на осушенной территории изменяется более значительно.

Полученные данные по элементному составу свидетельствуют о том, что в образцах торфа субарктического морского климата обнаружено меньше углерода и азота, но больше кислорода и серы, чем в образцах торфа торфяных месторождений регионов с умеренно-континентальным и континентальным климатом (табл. 2).

Для выяснения роли отдельных элементов в построении молекул вычислены некоторые атомные соотношения. Величина соотношения H/C больше единицы свидетельствует о преобладании алифатической составляющей в составе органического вещества над ароматическими структурами [32], что наблюдается для всех образцов, однако прослеживается тенденция к снижению этого параметра в ряду: торф, сформированный в условиях субарктического, умеренно-континентального и континентального климата.

Соотношение O/C свидетельствует о повышенном содержании кислородсодержащих групп в образцах торфа ненарушенного участка Илас-

ского болотного массива по сравнению с остальными образцами. Параллельное снижение атомной доли кислорода и азота, а также степени ароматичности в образцах торфа осушенной залежи указывает на интенсификацию микробной ассимиляции органического вещества и, соответственно, к росту степени разложения. Подобные явления были зафиксированы ранее для осушенных торфяных месторождений Томской области [33, 34].

Различия в компонентном и элементном составе образцов торфа закономерны и могут быть вызваны не только гидрологическими, но и геоклиматическими условиями его накопления. Так, в образцах торфа северных регионов с субарктическим морским климатом наблюдается сравнительно высокое содержание битумов. Вместе с тем в зависимости от условий торфообразования может отличаться качественный состав битумов [24].

Битумы торфа состоят из восков, углеводородов, асфальто-смолистых веществ, могут содержать некоторое количество пигментов (каротиноидов, хлорофилла), стероидов и других соединений. При низкой степени разложения компонентный состав битумов близок по составу к липидам растительных-торфообразователей. Как воска, так и смолы

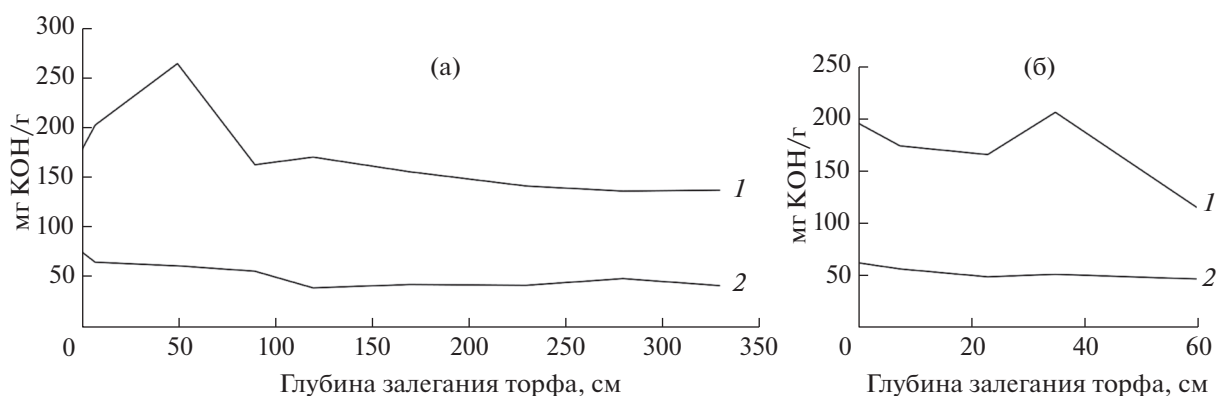


Рис. 1. Характеристики битумов торфа Иласского болотного массива: ненарушенный участок (а); осушенный участок (б): 1 – кислотное число; 2 – число омыления.

торфяных битумов содержат свободные кислоты и омыляемые вещества, среди которых имеются типичные для восков эфиры и характерные для смол ангидриды [23]. При переработке торфа фракцию свободных кислот принято идентифицировать как смолы, а сложные эфиры спиртов (неомыляемых соединений) и органических кислот – как торфяной воск [24].

В полученных экстрактах битумов торфа были определены показатели кислотное число (КЧ) и число омыления (ЧО), обусловленные содержанием свободных кислот и сложных эфиров соответственно. Результаты, представленные на рис. 1, наглядно демонстрируют, что с увеличением глубины залегания торфа снижается доля свободных кислот и растет доля сложных эфиров. Это свидетельствует о накоплении окисленных соединений в составе битумов по мере трансформации органического вещества. Вполне закономерно эти процессы более интенсивно протекают в образцах торфа неосушенного участка.

Для получения более подробной информации о происходящих процессах характеризовали групповой состав битумов торфа. Усредненные данные для образцов торфа со степенью разложения R 10–15%, сформированного в различных условиях, приведены на рис. 2.

Битумы торфа, сформированного в условиях холодного климата, обогащены неомыляемыми веществами, основную часть которых составляют спирты и парафины, и существенно обеднены свободными кислотами. В результате осушения состав битумов заметно меняется: повышается доля свободных жирных кислот и снижается содержание неомыляемой части. Следует отметить, что доля непредельных соединений в составе свободных жирных кислот (табл. 3) ненарушенного участка в субарктической зоне в 1.7–2.2 раза выше, чем в торфе других регионов. В связанных жирных кислотах наблюдается обратная тенден-

ция: доля ненасыщенных кислот ниже в 1.5–2.3 раза. В торфяных битумах осушенного участка по сравнению с ненарушенным доля непредельных кислот, как в свободных, так и связанных жирных кислотах в 1.7 раза выше. В остальном состав жирнокислотной фракции (табл. 3) меняется незначительно, как при изменении климатической зоны, так и гидрологических условий.

При анализе методами ГЖХ и ХМС в неомыляемой части торфяных битумов неизменного участка Иласского болотного массива выявлено 22 компонента, а осушенного – 36, в образцах верхового торфа, отобранных на торфяных месторождениях Республики Беларусь – 32, Западной Сибири – 49 компонентов.

Приведенные на рис. 3 диаграммы по составу восковой части битумов торфа различных климатических зон показывают, что неомыляемая фракция битумов торфа субарктической зоны значительно обогащена спиртами и предельными углеводородами, но обеднена амидами, альдегидами и кетонами по сравнению с образцами торфа других климатических зон. Обращает на себя внимание тот факт, что в результате осушения заметно растет доля альдегидов и кетонов. По-видимому, это объясняется процессами окисления за счет аэрации более глубоких слоев залежи в результате осушения. При этом в составе битумов торфа северных регионов обнаружено большее количество непредельных соединений, чем в торфе, сформированном при других геоклиматических и гидрологических условиях, что свидетельствует о замедлении процесса биodeградации растительных соединений в условиях холодного климата.

В водных экстрактах репрезентативных образцов торфа верхового олиготрофного Иласского торфяно-болотного массива, как при естественной влажности, так и после высушивания, спектрофотометрические исследования показали при-

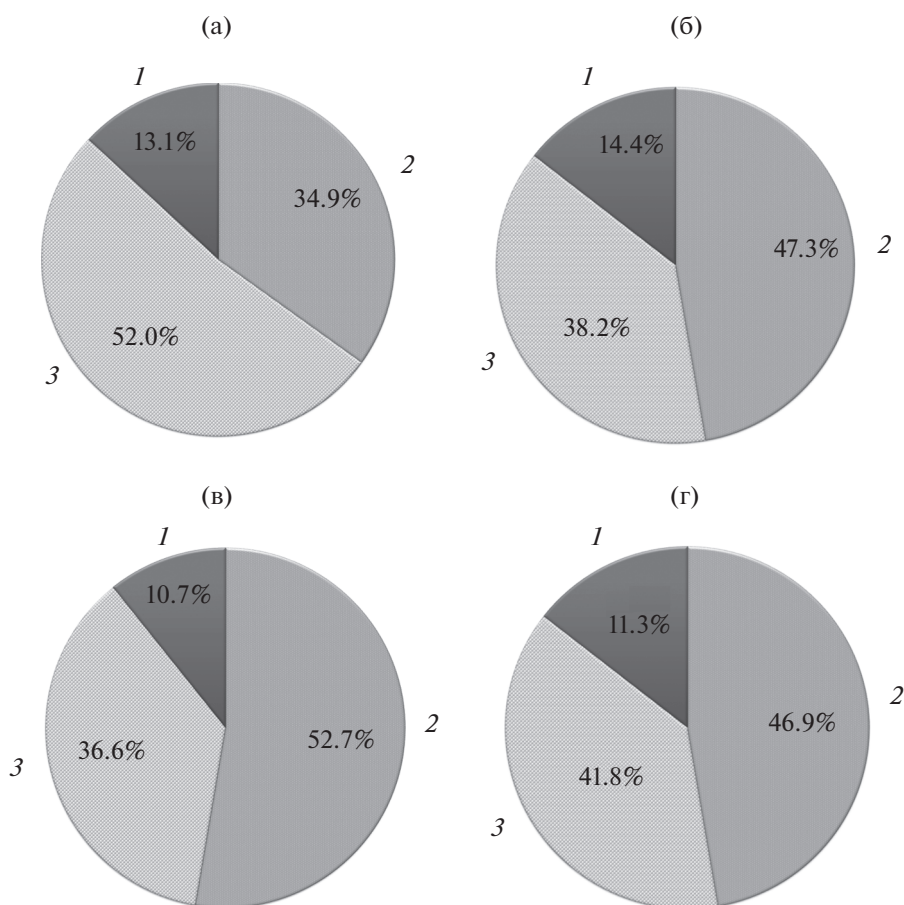


Рис. 2. Групповой состав битумов верхового торфа ($R = 10-15$), сформированного в субарктическом морском климате (а); субарктическом морском климате осушенный участок (б); умеренно-континентальном климате (Республика Беларусь) (в); континентальном климате (Западная Сибирь) (г): 1 – свободные жирные кислоты, 2 – неомыляемые вещества, 3 – связанные жирные кислоты.

сутствие фенольных соединений (рис. 4). Электронные спектры имеют вид пологих кривых с плечом в области 280 нм, что характерно для ароматических соединений. Спектры экстрактов, извлекаемых водой при тех же условиях из торфа естественной влажности, практически сливаются в одну линию, а расхождения в значениях лежат в пределах погрешности метода. При этом степень извлечения водорастворимой части заметно выше, чем при экстракции воздушно сухого торфа. Очевидно, совместно с таннидами в раствор переходит часть продуктов биотрансформации, а именно, фульвокислоты, для макромолекул которых свойственны преобладание алифатических фрагментов [32] и большое количество функциональных групп [34], образующих надмолекулярные структуры с молекулами воды. При обезвоживании торфа, по-видимому, усиливаются конденсационные процессы, что снижает растворимость фульвокислот. Следует отметить, что при эбулиостатическом титровании [35] водных экстрактов

торфа Иласского болотного массива не выявлено аналитически значимых количеств углеводов. Это, по-видимому, объясняется избирательной ассимиляцией моно- и дисахаров микроорганизмами в условиях холодного стресса в сочетании с низкой скоростью гидролиза полисахаридов при пониженных температурах, что хорошо согласуется с низкой степенью разложения торфа, характерной для торфа субарктической зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют заключить, что состояние болотных систем (изменение климата и гидрологических условий) может быть описано исходя из особенностей структурной организации торфа и его компонентного состава, в частности, экстрактивной составляющей (битумов). При этом гидрологические условия торфонакопления в большей степени влияют на процесс гумификации растительных тканей, а климатические – на состав битумной части торфа

Таблица 3. Состав жирнокислотной фракции битумов верхового торфа, сформированного в различных условиях

№	Наименование (число атомов углерода/ число кратных связей/ число карбоксильных групп)	Европейский Север (ненарушенный участок Иласского болотного массива)		Европейский Север (осушенный участок Иласского болотного массива)		Белоруссия		Западная Сибирь	
		содержание жирных кислот, %							
		свобод- ные	связан- ные	свобод- ные	связан- ные	свобод- ные	связан- ные	свобод- ные	связан- ные
1	Азелаиновая (C9/0/2)	4.9	2.5	7.6	0.7	0.9	2.7	3.4	1.5
2	Каприновая (C10/0/1)	1.7	0.6	0	0.821	0.4	0.2	1.5	0.2
3	Лауриновая (C12/0/1)	2.5	1.4	1.3	2.3	1.3	1.8	2.8	2.7
4	Тридекановая (C13/0/1)	0.2	0.4	0	0.3	1.5	0.1	5.6	0.3
5	Миристиновая (C14/0/1)	6.5	5.0	2.4	9.0	2.9	5.7	5.6	7.7
6	Пентадекановая (C15/0/1)	1.7	2.5	2.5	2.0	1.0	1.4	3.6	2.3
7	Пальмитиновая (C16/0/1)	22.0	35.4	27.3	29.0	15.5	22.8	38.2	35.3
8	Стеариновая (C18/0/1)	8.6	8.1	9.7	14.9	6.3	7.2	7.7	8.1
9	Олеиновая (C18/1/1)	7.3	7.2	12.3	13.5	4.3	5.3	2.5	10.9
10	Арахидиновая (C20/0/1)	6.3	6.8	3.0	7.9	36.9	9.2	5.2	6.9
11	Бегеновая (C22/0/1)	11.5	12.2	8.0	4.1	11.2	11.3	11.6	6.8
12	Трикозановая (C23/0/1)	1.6	1.7	2.1	1.8	3.7	2.1	0.7	0.7
13	Лигноцериновая (C24/0/1)	14.0	11.3	16.3	5.5	9.4	11.8	8.6	4.5
14	Тетракозеновая (C24/1/1)	2.5	1.8	5.5	4.0	0.1	8.8	2.1	9.7
15	Церотиновая (C26/0/1)	8.7	2.9	2.2	4.2	4.4	9.7	1.0	3.0

(изменение содержания и соотношения насыщенных и полиненасыщенных кислот во фракции экстрактивных веществ). Таким образом, компонентный состав торфа дает информацию

об условиях его формирования. Дальнейшее развитие этой работы предполагает разработку аналитических схем выделения и идентификацию индивидуальных компонентов фракции экстрак-

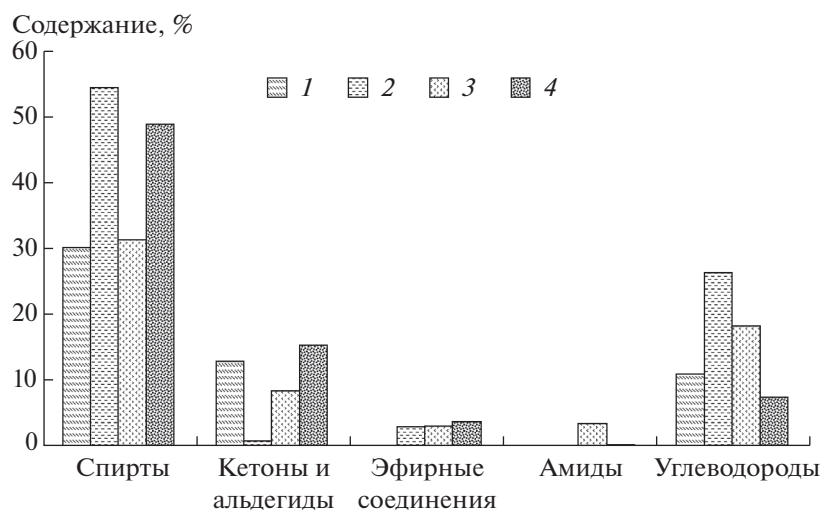


Рис. 3. Содержание отдельных групп соединений в неомыляемой части битумов верхового торфа различных климатических зон: 1 – субарктический морской климат; 2 – субарктический морской климат, осушенный участок; 3 – умеренно-континентальный климат (Республика Беларусь); 4 – континентальный климат (Западная Сибирь).

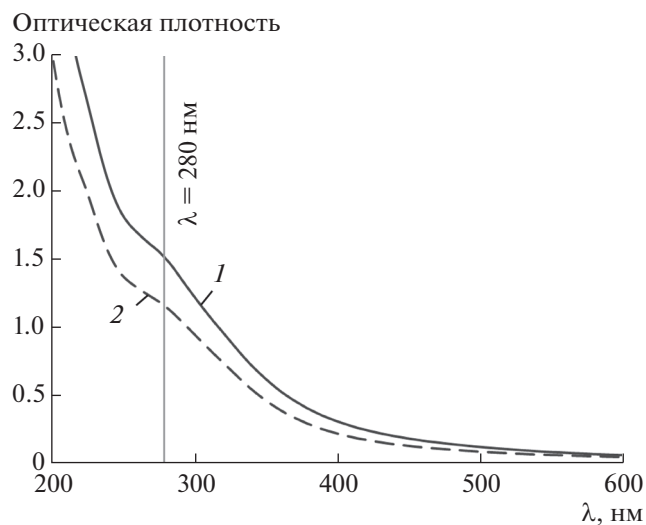


Рис. 4. Спектры поглощения водных экстрактов, извлекаемых из торфа: 1 – естественной влажности; 2 – воздушно-сухой.

тивных веществ, как наиболее чувствительных к стрессовым воздействиям соединений.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках темы № АААА-А18-118012390224-1 и проекта РФФИ № 18-05-70087.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Strack M.* Peatlands and climate change. Finland: International peat society, 2008. 227 p.
2. *Yu Z.C.* // *Biogeosciences*. 2012. V. 9. P. 4071. <https://doi.org/10.5194/bg-9-4071-2012>
3. *Joosten H., Tanneberger F., Moen A.* Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 2017. 788 p.
4. *Сирин А.А., Маркина А.В., Минаева Т.Ю.* // Материалы международного полевого симпозиума “Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации в зоне многолетней мерзлоты”. Сыктывкар, 2017. С. 16.
5. *Лиштван И.И., Логинов В.Ф.* Твердые горючие ископаемые Республики Беларусь и перспективы их комплексного использования. Минск: Беларуская навука, 2002. 679 с.
6. *Томсон А.Э., Наумова Г.В.* Торф и продукты его переработки. Минск: Беларуская навука, 2009. 280 с.
7. *Инишева Л.И., Маслов С.Г.* // *Химия растительного сырья*. 2003. № 3. С. 5.
8. *Бабиков Б.В., Кобак К.И.* // *Лесной журн*. 2016. № 1 (349). С. 9. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.1.9>
9. *Иванов Г.В., Костюко А.П., Иванов А.А.* // *Армейский сборник*. 2019. № 11. С. 18.
10. *Крючков В.В.* Север: природа и человек. М.: Наука, 1979. 128 с.
11. *Боч М.С., Мазинг В.В.* Экосистемы болот СССР. Л.: Наука, 1979. 187 с.
12. *Инишева Л.И., Шайдак Л., Сергеева М.А.* // *Почвоведение*. 2016. № 4. С. 505. [*Inisheva L.I., Szajdak L., Sergeeva M.A.* Dynamics of biochemical processes and redox conditions in geochemically linked landscapes of oligotrophic bogs // *Eurasian Soil Science*. 2016. V. 49. № 4. P. 466]. <https://doi.org/10.1134/S1064229316040050> <https://doi.org/10.7868/S0032180X16040055>
13. *Palozzi J.E., Lindo Z.* // *Plant and Soil*. 2017. V. 418. Iss. 1, 2. P. 277. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3291-0>
14. *Савельева А.В., Юдина Н.В.* // *Химия растительного сырья*. 2003. № 3. С. 17.
15. *Лиштван И.И., Король Н.Т.* Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1976. 320 с.
16. *Селянина С.Б., Труфанова М.В., Ярыгина О.Н., Орлов А.С., Пономарева Т.И., Титова К.В., Зубов И.Н.* // *Тр. ИБВВ РАН*. 2017. № 79 (82). С. 200. <https://doi.org/10.24411/0320-3557-2017-10040>
17. *Соколов О.М., Ивко В.Р.* Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование // Архангельск: Изд-во АГТУ, 2000. 37 с.
18. *Тюремнов С.Н.* Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 488 с.
19. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.
20. *Селянина С.Б., Пономарева Т.И., Орлов А.С., Ярыгина О.Н., Труфанова М.В.* Методика измерений группового химического состава торфа гравиметрическим методом: свидетельство об аттестации № 88-16365-009-RA.RU 310657-2017. Архангельск, 2017. 20 с.
21. *Раковский В.Е., Пигулевская Л.В.* Химия и генезис торфа. М.: Недра, 1975. 232 с.
22. *Наумова Г.В., Томсон А.Э., Жмакова Н.А., Макарова Н.Л., Овчинникова Т.Ф.* // *Природопользование*. 2012. Вып. 22. С. 236.
23. *Шинкеева Н.А., Маслов С.Г., Архипов В.С.* // *Вестн. ТГПУ*. 2009. Вып. 3 (81). С. 116.
24. *Архипов В.С., Маслов С.Г.* // *Химия растительного сырья*. 1998. № 4. С. 9.
25. *Волков И.И., Жабина Н.Н.* // *Химический анализ морских осадков*. / Под ред. Э.А. Остроумова. М.: Наука, 1980. 263 с.
26. *Селянина С.Б., Труфанова М.В., Забелина С.А., Богданов М.В., Боголицын К.Г., Соколова Т.В., Стригуцкий В.П., Пономарева Т.И., Ярыгина О.Н., Орлов А.С.* // *Вестн. РФФИ*. 2016. № 1 (89). С. 31.
27. *Белькевич П.И., Голованов Н.Г., Долидович Е.Ф.* Битумы торфа и бурого угля. Минск: Наука и техника, 1989. 127 с.
28. *Белькевич П.И., Гайдук К.А., Зувев Т.Т., Трубилко Э.В.* Торфяной воск и сопутствующие продукты. Минск: Наука и техника, 1977. 232 с.

29. Мальцева Е.В., Михеев К.В., Юдина Н.В., Буркова В.Н., Ильина А.А. // ХТТ. № 4. 2012. С. 10. [Solid Fuel Chemistry. 2012. V. 46. № 4. P. 212].
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17845482>
30. Селянина С.Б., Парфенова Л.Н., Труфанова М.В., Боголицын К.Г., Соколова Т.В., Стригуцкий В.П., Пехтерева В.С., Томсон А.Э., Цыганов А.Р., Богданов М.В., Мальцева Е.В. // Фундаментальные исследования. 2013. № 4 (2). С. 340.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39211765>
31. Печуро Н.С., Капкин В.Д., Песин О.Ю. Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа. М.: Химия, 1986. 352 с.
32. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв. М.: Изд-во МГУ, 1974. 177 с.
33. Хорошавин Л.Б., Медведев О.А., Беляков В.А., Михеева Е.В., Руднов В.С., Байтиминова Е.А. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. 256 с.
34. Гаврильчик А.П., Кашинская Т.Я. Трансформация свойств торфа при антропогенном воздействии. Минск: Беларуская навука, 2013. 305 с.
35. Томсон А.Э., Орлов А.С., Селянина С.Б., Стригуцкий В.П., Соколова Т.В., Пехтерева В.С., Сосновская Н.Е., Труфанова М.В., Пономарева Т.И., Ярыгина О.Н., Зубов И.Н. // Природопользование. 2018. № 1. С. 198.