

УДК 631.436

## ИНДИКАТОРНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭКСТИНКЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ ЭКСТРАКТОВ СЛАБОРАЗЛОЖИВШИХСЯ ТОРФОВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗАПАДНО-СИБИРСКИХ БОЛОТ

© 2019 г. А. В. Савельева<sup>1,\*</sup>, Ю. И. Прейс<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт химии нефти СО РАН, 634055 Томск, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055 Томск, Россия

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

\*\*e-mail: preisyui@rambler.ru

Поступила в редакцию 13.11.2018 г.

После доработки 26.12.2018 г.

Принята к публикации 02.04.2019 г.

В работе представлены результаты комплексных исследований общих технических свойств и электронных спектров гумусовых веществ верхового торфяного разреза Болтное мощностью 720 см (южная тайга Западной Сибири). Выявлено, что верховые торфы имеют преимущественно низкие показатели степени разложения (в среднем 10%) и гумификации (0.6). Установлено значительное варьирование в пределах залежи показателей степени гумификации (0.14–1.30) и коэффициентов экстинкции щелочных экстрактов торфа (*E*<sub>465</sub> 0.25–2.41 и *E*<sub>665</sub> 0.08–0.43). Выявлено влияние на эти коэффициенты ботанического состава торфа и снижение их индикаторной значимости для реконструкции гидротермического режима западно-сибирских болот.

Ключевые слова: гумусовые вещества, торф, коэффициенты экстинкции

DOI: 10.1134/S0023117719040108

### ВВЕДЕНИЕ

Электронные спектры поглощения – один из основных диагностических методов при обнаружении и изучении гуминовых кислот (ГК), входит в число их классификационных признаков, разработанных в [1]. В свете современного глобального потепления климата актуальны краткосрочные прогнозы его изменения на ближайшие столетия. Разработка таких прогнозов возможна по данным высокоразрешающих реконструкций гидротермического состояния болотных палеоэкопотоков на основе долговременных рядов показателей высокочувствительных индикаторов, содержащихся в торфяных отложениях.

Как известно, в качестве индикаторов водного и термического режимов болотных палеоэкопотоков и палеоклимата на их основе используют и различные показатели свойств и структуры ГК [2–7]. Одним из наиболее часто применяемых индикаторов является показатель степени гумификации торфа (*I<sub>h</sub>*) [8–11]. Отношение  $C_{alif}/C_{arom}$  ГК, получаемое методом ИК-спектроскопии, индицирует гидротермический режим окружающей среды. Часто для описания степени конденсации ароматических структур используется отношение

*E*<sub>4</sub>/*E*<sub>6</sub>. Известно, что его низкие показатели отражают более высокую степень конденсированности ароматических фрагментов и степень их сформированности, в то время как высокое – наличие большего количества алифатических структур в макромолекуле ГК и низкую величину конденсированности ароматического ядра. В сухих и теплых условиях образуются ГК, имеющие хорошо сформированную ароматическую часть, составляющую большую долю макромолекул, и небольшую алифатическую часть. В холодных и влажных условиях формируются ГК с большей долей периферической части, что отражается на изменении абсолютных величин коэффициентов, характеризующих оптические свойства этого компонента почв [12]. Данное соотношение также зависит от степени ароматичности, молекулярного размера ГК и pH окружающей среды [13–15]. На него влияют содержание кислорода, углерода, карбоксильных групп, ботанический состав торфа и его возраст [4, 14, 16, 17]. Обычно вывод о степени конденсированности ароматических соединений ГК делается на основании данных о корреляции *E*<sub>4</sub>/*E*<sub>6</sub> и соотношения *E*<sub>472</sub>/*E*<sub>664</sub>, указывающего на степень конденса-

ции и полимеризации ароматических компонентов [18], а также других показателей, полученных методами УФ-спектроскопии. Для получения долговременных высокого разрешения рядов данного индикатора ( $E4/E6$ ) актуальным является оценка возможности применения УФ-спектроскопии щелочных экстрактов торфа в качестве экспресс-метода.

Цель исследования – выявление особенностей и индикаторной значимости коэффициентов экстинкции щелочных экстрактов слаборазложившихся торфов для реконструкции гидротермического режима западно-сибирских болот.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования был выбран южно-таежный глубоководный торфяной разрез болота Болтное ( $57^{\circ}04' 44.3''$  с.ш. и  $79^{\circ} 34' 29.2''$  в.д., расположенный на севере центральной части Большого Васюганского болота, на его гребне, в самом центре Обь-Иртышского водораздела.

Болотный массив Болтное – типичный представитель регионального “Нарымского” типа болот [19], для которого характерны: древний, предбореальный или бореальный возраст, глубокие торфяные залежи верхового типа из слаборазложившихся сфагновых торфов, обладающие мощными буферными свойствами и слабым откликом на изменения климата голоцена. В их генетических центрах представлены монотонные фускум-залежи. С целью получения наиболее сложной стратиграфии торфяной залежи разрез заложен на периферии вершинного плато, у начала одной из ложбин стока, сформировавшейся на границе двух элементарных болотных массивов и занятой в настоящее время грядово-топяно-озерным комплексом. Торфоотборочным буром БТГ-1 проведен детальный (с шагом 1.0–5.0 см) отбор проб на полную глубину торфяной залежи.

В отобранных образцах определили общие технические свойства: ботанический состав торфа – микроскопическим методом по ГОСТ 28245-89, степень разложения ( $R$ ) – методом центрифугирования по ГОСТ 10650-2013, зольность ( $A$ ) по ГОСТ 11306-2013, плотность ( $P$ ) и естественную влажность ( $W_{\text{ест}}$ ) – по методикам Инсторфа [20], pH торфа – на милливольтметре pH 150МА.

Показатели степени гумификации ( $Ih$ ) и коэффициентов экстинкции ( $E465$ ,  $E665$ ) определены в 179 образцах торфа и 11 образцах болотных растений методом УФ-спектроскопии их щелочных экстрактов. При подготовке пробы 0.1 г сухого торфа (или растения) заливали 0.1 н. раствором щелочи объемом 50 мл, в течение 2 ч выдерживали при  $80^{\circ}\text{C}$ , экстракт фильтровали и доводили до 100 мл дистиллированной водой. Регистрацию электронных спектров поглощения полученных

щелочных экстрактов проводили на спектрофотометре “UNICO 2800UV/VIS” (США) в диапазоне волн: 540 нм – для определения  $Ih$ , 465 и 650 нм – коэффициентов экстинкции  $E465$ ,  $E665$  и вычисляли их отношение  $E4/E6$ .

Для оценки возможности использования в качестве экспресс-метода УФ-спектроскопию щелочных экстрактов торфа определяли показатели спектров поглощения при аналогичных длинах волн щелочных растворов ГК 7 типичных образцов. Гуминовые кислоты извлекали 0.1 н. раствором NaOH без нагревания, осаждали из экстракта 10%-ным раствором HCl, отмывали водой до нейтральной реакции и высушивали при комнатной температуре. Регистрацию электронных спектров поглощения 0.001%-ных щелочных растворов ГК проводили в кварцевой кювете толщиной 1 см при значениях pH 7.1–7. 2.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Торфяная залежь разреза Болтное – верховая комплексная, имеет глубину 780 см. До глубины 720 см она сложена верховыми, в основном сфагновыми, торфами: фускум, ангустифолиум, балтикум, майус, магелланикум, различными мочажинными, пушицево- и шейхцериево-сфагновым, а также многочисленными прослойками, обогащенными древесиной, пушицей или шейхцерией. Ниже залегают низинные осоковый, тростниковый и терес-торф. Для залежи характерны частые резкие смены торфов разного ботанического состава.

Верховые торфы разреза – преимущественно слабо разложившиеся ( $R_{\text{cp}} = 10\%$ ), имеют низкие показатели плотности ( $P_{\text{cp}} = 55$  г/дм<sup>3</sup>) и содержания углерода ( $C_{\text{cp}} = 48.5\%$ ) (табл. 1).

Необходимо отметить, что более низкая степень разложения не только верховых, но и всех западно-сибирских торфов [21] – их региональная особенность, в значительной степени обусловленная континентальным климатом Западной Сибири: максимально благоприятные для гумификации торфа сухие, теплые периоды менее выражены и менее продолжительны, чем в других, менее континентальных, регионах. В отличие от этих регионов максимальное влияние на водный режим болот в голоцене оказывали сухие, холодные и влажные, теплые периоды климата [22]. Значительному обсыханию болот препятствовали и позднее оттаивание сезонной мерзлоты [21], и наличие у плотных дернин *Sphagnum fuscum*, основного торфообразователя в Западной Сибири, мощных адаптационных свойств к перенесению неблагоприятных гидротермических условий [23].

Такие низкие показатели свойств торфа ( $R$ ,  $P$  и  $C$ ) типичны для глубоких верховых сфагновых за-

**Таблица 1.** Пределы варьирования и средние показатели свойств верхового торфа разреза Болтное и коэффициентов экстинкции его щелочных экстрактов

Показатель	<i>Ih</i>	<i>E4/E6</i>	<i>E465</i>	<i>E665</i>	<i>R</i> , %	<i>P<sub>аст</sub></i> , г/дм <sup>3</sup>	<i>C</i> , %	<i>IW</i>	<i>СУ</i>
Минимум	0.14	3.2	0.25	0.08	4	21	43	1.6	75
Максимум	1.30	9.1	2.41	0.43	29	102	58	8.6	99
Средние	0.59	5.8	1.24	0.21	10.2	55.0	48.5	4.3	87.6

лежей аутогенного развития, в том числе болот Западной Сибири (табл. 1). Однако характерные для аутогенного развития болот тренды этих показателей, постепенное уменьшение их к поверхности, слабо выражены. Изменения показателей имеют пульсирующий характер.

Понимание закономерностей трансформации органического вещества торфов на ее ранних стадиях возможно лишь с учетом свойств исходного органического вещества растений-торфообразователей.

Особенность электронных спектров щелочных экстрактов прогуминовых веществ высших сосудистых растений: вересковых кустарничков, морошки, пушицы и шейхцерии – это высокие значения *Ih*, *E4/E6*, *E465* и *E664* (табл. 1). При этом выражена тенденция понижения этих показателей по мере возрастания требований растений к обводненности их местообитаний, показателем которой являются индекс влажности (*IW*) [24] и степень увлажнения (*СУ*) [25] (табл. 2). Зависимость этих значений у сфагновых мхов от их экологических предпочтений условиям обводненности местообитаний менее выражена. Показатели прогуминовых веществ сфагновых мхов специфичны для каждого вида. Среди сфагновых мхов максимальные их значения выявлены как у наиболее гидрофитного (*Sphagnum majus*), так и наиболее гидромезофитного (*Sphagnum fuscum*) видов. Величины *E4/E6* щелочных экстрактов прогуминовых веществ основных растений-торфообразователей (пушицы, шейхцерии и сфагновых мхов) варьируют от 2.2 до 3.9, поэтому при слабой преобразованности исходного ОВ в торфах *E4/E6*, так же как *E465* и *E665*, могут быть низкими.

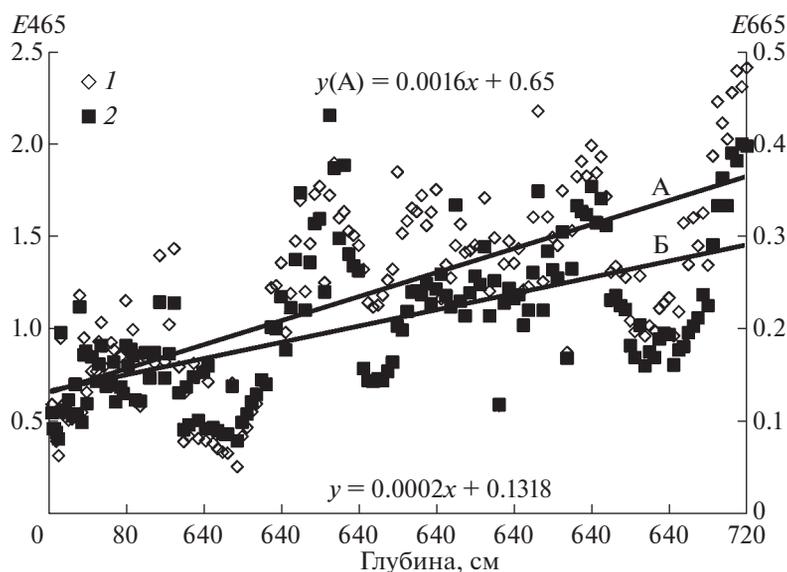
Необходимо отметить, что для всех показателей оптической плотности щелочных экстрактов прогуминовых веществ характерны положительные, высоко значимые (0.93–1.0) коэффициенты корреляции (*r*) и отрицательные, менее значимые

(–0.57 ÷ –0.65) с *IW* – показателем водного режима болотных экотопов.

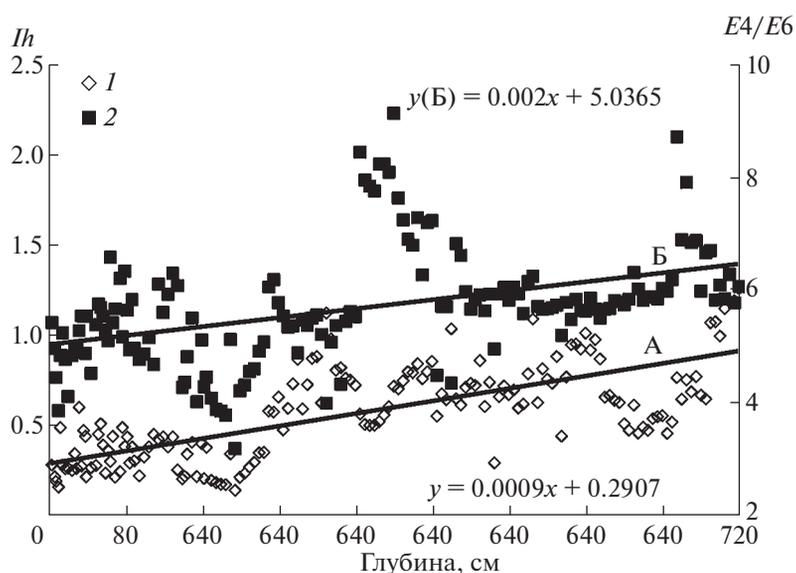
Выявлены значительные различия *Ih* и *E465/E665* щелочных экстрактов прогуминовых веществ *Ledum palustre* и *Scheuchzeria palustris* (табл. 2). Величина *Ih* для этих видов соответственно равна 0.58 и 0.14, *E465/E665* – 6.74 и 3.26. Следовательно, наличие в торфе остатков вересковых кустарничков повышает данные показатели, а шейхцерии – понижает, поэтому при реконструкции как водных режимов болотных палеоэкотопов, так и климатических условий по этим показателям необходимо учитывать влияние ботанического состава торфа.

**Таблица 2.** Степень гумификации и коэффициенты экстинкции щелочных экстрактов прогуминовых веществ болотных растений южной тайги Западной Сибири

Растение	<i>Ih</i>	<i>E4/E6</i>	<i>E465</i>	<i>E665</i>	<i>IW</i>	<i>СУ</i>
<i>Ledum palustre</i>	0.58	6.57	1.24	0.19	2	82
<i>Oxycoccus palustris</i>	0.47	7.9	1.02	0.13	2	92
<i>Eriophorum vaginatum</i>	0.26	3.94	0.5	0.13	4	93
<i>Rubus chamaemorus</i>	0.15	3.58	0.4	0.11	–	–
<i>Scheuchzeria palustris</i>	0.14	3.26	0.28	0.09	8	99
<i>Sphagnum majus</i>	0.13	3.96	0.27	0.07	9	100
<i>Sphagnum fuscum</i>	0.12	2.76	0.22	0.08	3	87
<i>Sphagnum fallax</i>	0.09	2.27	0.16	0.07	7	92
<i>Sphagnum angustifolium</i>	0.09	2.19	0.15	0.07	5	81
<i>Sphagnum magellanicum</i>	0.08	3.14	0.16	0.05	4	90
<i>Sphagnum balticum</i>	0.07	2.53	0.14	0.05	7	95



**Рис. 1.** Зависимость коэффициентов экстинкции щелочных экстрактов торфов от глубины залегания в разрезе Болтное: 1 – E465, 2 – E665, А – Линейная 1, Б – Линейная 2.



**Рис. 2.** Зависимость степени гумификации и отношения коэффициентов экстинкции щелочных экстрактов торфов от глубины залегания в разрезе Болтное: 1 –  $I_h$ , 2 –  $E4/E6$ , А – Линейная 1, Б – Линейная 2.

Для спектров поглощения щелочных экстрактов торфов разреза Болтное характерно преобладание низких показателей степени гумификации ( $I_{h_{cp}} = 0.59$ ) и коэффициента экстинкции, характеризующего содержание ароматического углерода в ГК ( $E_{665_{cp}} = 0.21$ ) и высоких показателей ( $E_{465_{cp}} = 1.24$ ) – алифатического углерода (табл. 1),

т.е. эти особенности спектров поглощения щелочных экстрактов торфов данного разреза связаны с их слабой степенью разложения.

По трендам зависимости показателей степени гумификации и коэффициентов экстинкции ГВ от глубины залегания торфов, в целом выявляется закономерная для аутогенного хода развития бо-

**Таблица 3.** Корреляция свойств верхового торфа, спектральных коэффициентов его щелочных экстрактов и показателей водного режима болотных палеозекотопов

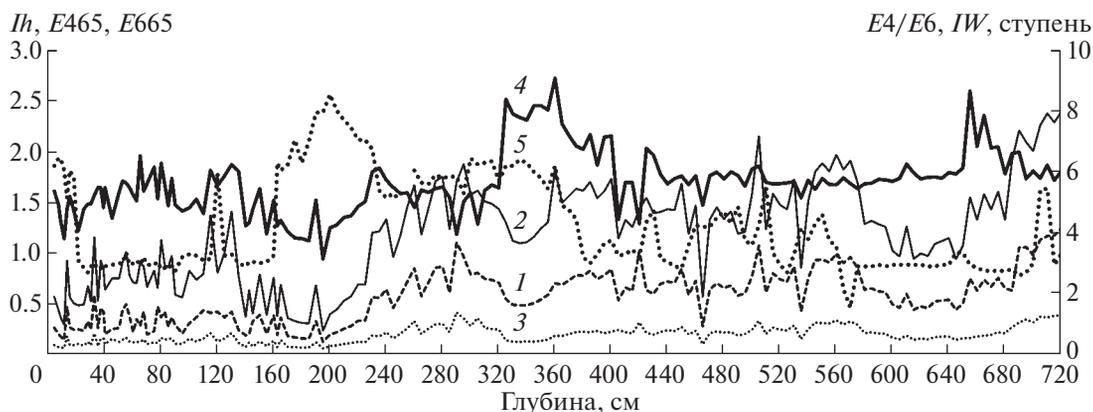
Показатель	$h$ , см	$Ih$	$E4/E6$	$E465$	$E665$	$R$ , %	$C$ , %	$P_{\text{аст}}$ , г/дм <sup>3</sup>	$IW$ , ступень	$SU$ , ступень
$h$ , см	1.00	0.71	0.40	0.70	0.63	0.49	0.60	0.51	-0.24	-0.30
$Ih$		1.00	0.39	0.97	0.96	0.56	0.66	0.58	-0.16	-0.43
$E4/E6$			1.00	0.52	0.22	0.15	0.33	0.39	-0.15	-0.28
$E465$				1.00	0.94	0.53	0.67	0.60	-0.20	-0.46
$E665$					1.00	0.53	0.64	0.52	-0.16	-0.42
$R$ , %						1.00	0.61	0.62	-0.32	-0.29
$C$ , %							1.00	0.61	-0.24	-0.36
$P_{\text{аст}}$ , г/дм <sup>3</sup>								1.00	-0.36	-0.45
$IW$ , ступень									1.00	0.73
$SU$ , ступень										1.00

лот тенденция их уменьшения от нижних слоев залежи к поверхности (рис. 1, 2). Однако значительный разброс этих показателей (табл. 1; рис. 1, 2) по всей глубине залежи свидетельствует о неоднократных нарушениях аутогенного развития болота Болтного внешними факторами.

Корреляционные связи между  $Ih$ ,  $E465$ ,  $E665$  щелочных экстрактов торфов, так же как и прогуминовых веществ растений-торфообразователей, положительные и достаточно высоко значимые ( $r = 0.93-0.96$ ) (табл. 3). Хорошая согласованность изменения показателей  $E465$ ,  $E665$  с  $Ih$  по глубине залежи (рис. 3) отражает процесс возрастания содержания как алифатического углерода, так и ароматического углерода на начальном эта-

пе преобразования прогуминовых веществ в ГВ и свидетельствует об одинаковом направлении их изменения под влиянием лимитирующего фактора в каждый конкретный момент торфонакопления. Однако в щелочных экстрактах торфов в отличие от прогуминовых веществ значимые корреляционные зависимости  $E4/E6$  с  $Ih$  и  $E665$  отсутствуют, а с  $E465$  низко значимые, что может быть обусловлено разным химическим составом прогуминовых веществ растений-торфообразователей, т.е. разным ботаническим составом торфов.

В разрезе Болтное, образованном слаборазложившимися торфами, одинаковые тренды изменения имеют не только показатели  $Ih$  и  $E465$ , но и

**Рис. 3.** Изменение коэффициентов экстинкции щелочных экстрактов торфов, их отношения и индекса влажности по глубине торфяного разреза Болтное: 1 –  $Ih$ , 2 –  $E465$ , 3 –  $E665$ , 4 –  $E4/E6$ , 5 –  $IW$ .

**Таблица 4.** Показатели УФ-спектров поглощения щелочных экстрактов торфа и щелочных растворов ГК некоторых типичных видов торфа разреза Болтное

$h^*$ , см	Вид торфа	Щелочной экстракт торфа				Щелочной раствор ГК		
		$Ih$	$E465$	$E665$	$E4/E6$	$E465$	$E665$	$E4/E6$
105	Пушицево-сфагновый	0.38	0.75	0.15	5.16	0.075	0.014	5.19
110	Фускум	0.45	0.81	0.17	4.68	0.081	0.018	4.64
130	Фускум	0.44	1.43	0.23	6.30	0.137	0.023	6.04
185	Сфагновый мочажинный	0.17	0.32	0.09	3.79	0.032	0.08	4.13
245	Ангустифолиум	0.48	0.98	0.18	5.55	0.098	0.023	4.24
250	Ангустифолиум	0.60	1.19	0.22	5.34	0.115	0.023	5.07
290	Ангустифолиум	1.12	1.72	0.43	4.00	0.185	0.033	5.61

\* Глубина залегания.

$E665$  (рис. 3), поэтому значимые положительные корреляционные зависимости получены не только между показателями свойств торфа ( $R$ ,  $P_{act}$ ,  $C$ ) и  $Ih$  с  $E665$ , что закономерно, так как все эти показатели возрастают в процессе трансформации органического вещества торфа, но и с  $E465$  (табл. 3). Отсутствие значимых связей всех этих показателей с  $IW$  и  $SU$  объясняется преобладанием в разрезе сфагновых торфов, слабая преобразованность которых обусловлена, прежде всего, их бактерицидными свойствами. Кроме того, на все эти показатели оказывает влияние не только степень обводненности палеоэкотопов, но и характер водного режима, а также вторичное изменение свойств торфов под влиянием внешних факторов. Наиболее вероятно, что на некоторых сильно обводненных стадиях развития именно возрастание проточности или вторичное дренирование палеоэкотопов обусловили однонаправленное изменение спектральных показателей и  $IW$  (рис. 3).

Так как при аридных потеплениях закономерно повышение  $Ih$  и понижение  $E4/E6$ , возможна оценка индикаторной значимости  $E4/E6$  по наличию между ними отрицательных корреляционных связей. В результате проведения корреляционного анализа установлено, что корреляция ( $r$ )  $Ih$  и  $E4/E6$ , рассчитанная в целом для верховой части залежи, незначима. При рассмотрении значимости по отдельным слоям разреза  $r$  значительно изменяется не только по величине, но и по знаку. В слое 720–650 см  $r = -0.54$ , 650–575 см  $r = -0.27$ , 575–500 см  $r = 0.61$ , 500–450 см  $r = 0.21$ , 450–400 см  $r = -0.38$ , 400–370 см  $r = 0.85$ , 370–320 см  $r = -0.02$ , 320–255 см  $r = -0.62$ , 255–170 см  $r = 0.89$ , 170–120 см  $r = 0.68$ , 120–18 см  $r = 0.01$ , 0–18 см  $r = 0.9$ . В отдельных слоях значимые свя-

зи  $E4/E6$  и  $Ih$  в основном также отсутствуют, что связано с отсутствием их согласованного изменения. Иногда эти значимые связи бывают положительными. В слое 575–500 см это обусловлено наличием нескольких согласованных экстремумов  $E4/E6$  и  $Ih$ , при исключении которых связи становятся незначимыми, 255–170 см – совпадением трендов изменения  $E4/E6$  и  $Ih$ , 170–120 см – частым совпадением экстремумов обоих показателей. Отрицательные связи выявлены в двух слоях. Однако внутри слоя 720–650 см отрицательное значение  $r$  было получено при объединении слоев со связями разной значимости: 720–685 см с  $r = -0.21$  и 680–650 см с  $r = 0.68$ . Таким образом, индикаторная значимость  $E4/E6$  практически отсутствует. Вероятнее всего, этот вывод подтверждается и тем, что низкие показатели  $E4/E6$  получены при различных сочетаниях показателей спектров поглощения: обоих высоких, обоих низких и обоих средних, независимо от  $Ih$ , что хорошо видно на рис. 3.

Для разреза Болтное характерны частые колебания показателей коэффициентов экстинкции щелочных экстрактов торфов и их отношения по глубине залежи (рис. 3). Эти колебания обусловлены региональной особенностью, отражением континентальности климата Западной Сибири с его частыми резкими сменами влажностного и температурного режимов внутривековых и вековых циклов. Другой особенностью разреза Болтное является то, что эти показатели достаточно сильно (в 5–8 раз) варьируют:  $Ih$  (0.14–1.3),  $E465$  (0.25–3.4),  $E665$  (0.08–0.43), несмотря на относительно низкие их средние значения, что обусловлено, прежде всего, разнообразием ботанического состава торфов, отражающим резкие смены

видового состава и структуры растительных сообществ под влиянием изменений гидротермического режима климата и, соответственно, болотных экотопов в процессе развития болота. Общепринятое мнение о слабом отклике верховых болот «Нарымского» типа на климатические изменения голоцена [21], вероятнее всего, справедливо лишь для монотонных фускум-залежей. В разрезе Болтное, образованном комплексной верховой залежью, спектральный коэффициент  $E4/E6$  варьирует в более широких пределах (3.2–9.1), чем даже на менее глубоких торфяных разрезах южной тайги Западной Сибири (5.0–6.8) [7], что сходно с варьированием  $E4/E6$  (3.0–14.0) на более мелкозалежном болоте *Dzelve*, также сложенном слаборазложившимися (10–15%) верховыми сфагновыми торфами, но формировавшимся в условиях умеренно континентального климата Латвии [26].

Сравнительный анализ показателей  $E465$ ,  $E665$  и  $E4/E6$  щелочных экстрактов торфа и щелочных растворов ГК выявил, что, несмотря на значительные различия коэффициентов экстинкции, их отношения имеют значительное сходство (табл. 4), что подтверждает правомерность использования экспресс-метода УФ-спектроскопии щелочных экстрактов торфа для определения  $E4/E6$  в слаборазложившихся верховых торфах.

## ВЫВОДЫ

1. Особенностью электронных спектров щелочных экстрактов прогуминовых веществ основных растений-торфообразователей, слагающих верховую залежь, являются высокие значения коэффициентов индикаторной значимости  $Ih$ ,  $E4/E6$ ,  $E465$  и  $E664$  при слабой преобразованности исходного ОВ. Максимальные значения выявлены у сфагновых мхов гидрофитного (*Sphagnum majus*) и гидромезофитного (*Sphagnum fuscum*) видов и варьируют от 2.2 до 3.9.

2. Установлено, что для щелочных экстрактов торфов разреза Болтное характерно преобладание низких показателей степени гумификации и коэффициента экстинкции, характеризующего содержание ароматического углерода в ГК ( $E665$ ) при высоком содержании алифатического углерода ( $E465$ ). По трендам зависимости этих показателей, отмечена закономерная тенденция их уменьшения от нижних слоев залежи к поверхности, а значительный разброс этих показателей свидетельствует о неоднократных нарушениях аутогенного развития болота Болтного внешними факторами, что является региональной особенностью.

3. Показано, что для комплексной верховой залежи спектральные коэффициенты варьируют

в широких пределах  $E4/E6$  (3.2–9.1),  $Ih$  (0.14–1.3),  $E465$  (0.25–3.4),  $E665$  (0.08–0.43) и зависят от ботанического состава торфов, формирующегося под влиянием изменений гидротермического режима болотных экотопов и климата в процессе развития болота.

4. Установлено, что индикаторная значимость коэффициентов экстинкции щелочных экстрактов слаборазложившихся торфов для реконструкции гидротермического режима западно-сибирских болот значительно снижена.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00860-а.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв М.: Изд-во МГУ, 1974. 331 с.
2. Anderson H., Hepburn A // Peat and water (Ed. C.H. Fuchsman). N.Y.: Acad. Press, 1986. P. 177.
3. Borgmark A. // Holocene. 2005. V. 15. № 3. P. 387.
4. Zacccone C., Miano T.M., Shotyk W. // Organic Geochemistry. 2007. V. 38. Is. 1. P. 151.
5. Zacccone C., Sanei H., Outridge P.M., Miano T.M. // Organic Geochemistry. 2011. № 42. P. 399.
6. Ларин С.И., Ларина Н.С., Меркушина Г.А., Рябогина Н.Е. // Матер. III всерос. научн. конф. (с междунар. участием) “Динамика современных экосистем в голоцене”. Казань: Изд-во Отечество, 2013. С. 228.
7. Веретенникова Е.Э., Курьина И.В., Ильина А.А., Савельев В.В. // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2014. № 3 (27). С. 6.
8. Wang H., Hong Y., Lin Q., Hong B., Zhu Y., Wang Y., Xu H. // Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol. 2010. V. 286. Iss. 3, 4. P. 171.
9. Castro D., Souto M., Garcia-Rodeja E., Pontevedra-Pombal X., Fraga M.I. // Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol. 2015. V. 420. P. 82.
10. Blundell A., Holden J., Turner T.E. // Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol. 2016. V. 443. P. 216.
11. McCarroll J., Chambers F.M., Webb J.C., Thom T. // Quaternary Intern. 2017. V. 432. Pt A. P. 39.
12. Мартынова Н.А. Химия почв: органическое вещество почв. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 257 с.
13. Chen Y., Senesi N., Schnitzer M. // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1977. № 41. P. 352.
14. Stevenson F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reaction. N.Y.: Wiley-Interscience, 1982. 443 p.
15. Uyguner C.S., Hellriegel C., Otto W., Larive C.K. // Anal. Bioanal. Chem. 2004. V. 378. № 6. P. 1579.
16. Purmalis O., Klavins M. // Open J. Soil Sci. 2012. V. 2. № 2. P. 100–110.
17. Klavins M., Purmalis O., Rodinov V. // Estonian J. Ecology. 2013. V. 62. № 1. P. 35.

18. *Uyguner C.S. and Bekbolet M.* // Catalysis Today. 2005. V. 101. Iss. 3. P. 267.
19. *Бронзов А.Я.* Верховые болота Нарымского края (бассейн р. Васюган) // Тр. НИИ торфяного ин-та. 1930. № 3. С. 1.
20. *Лиштван И.И., Король Н.Т.* Основные свойства торфа и методы его определения. Минск: Наука и техника, 1975. 320 с.
21. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Под ред. *Куваева В.Б.* М.: Гриф и К°, 2001. 584 с.
22. *Прейс Ю.И.* // Изв. Томск. политех. ун-та. 2015. Т. 326. № 2. С. 90.
23. *Смоляницкий Л.Я.* // Ботан. журн. 1977. № 9. Т. 62. С. 1262.
24. *Елина Г.А., Юрковская Т.К.* // Ботан. журн. 1992. Т. 77. № 7. С. 120.
25. *Раменский Л.Г., Цаценкин И.И., Чижиков О.Н., Антипин Н.А.* Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
26. *Purmalis O., Klavins M.* Comparative study of peat humic acids by using UV spectroscopy // 1st. Annual International Interdisciplinary Conference. Azores. April 24–26. 2013. Publ: EGALITE, 2013. P. 857 (Portugal).