

## ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 56.074.6:551.794

### РЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ НИЗИННОГО БОЛОТА НА ЮГЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2018 г. И. В. Курьина<sup>1, \*</sup>, Е. Э. Веретенникова<sup>1</sup>, А. А. Ильина<sup>2</sup>, Е. А. Дюкарев<sup>1</sup>,  
Е. А. Головацкая<sup>1</sup>, С. В. Смирнов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

<sup>2</sup> Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

\*e-mail: irina.kuryina@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.12.2016 г.

Принята в печать 22.03.2018 г.

Проведено палеоэкологическое исследование торфяной залежи низинного террасного болота на юге таежной зоны Западной Сибири. Работа основана на комплексном подходе, в котором использован ряд методов: радиоуглеродное датирование, анализ ботанического состава торфа, раковинных амеб, степени гумификации и физико-химических свойств гуминовых кислот, извлеченных из торфа. Сопоставление результатов этих методов позволило воссоздать сложную историю развития низинного болота, определяемую локальными гидрологическими, геоморфологическими и геохимическими условиями на фоне происходивших климатических изменений. В начале развития болота подвергалось частым подтоплениям со стороны реки, что обеспечивало дополнительный принос минеральных веществ и, как следствие, формирование торфов с высокой зольностью. Затем влияние реки ослабло, и рост торфяной залежи в большей мере определялся факторами эндогенного болотообразования и уровнем поверхностного гидрологического стока. Это привело к формированию нормальнозольных торфов; гигрофитные травы сменились осоково-гипновыми группировками. Выявлена высокая чувствительность болота к вариациям климата в течение последних 8500 лет, что подтверждается синхронными колебаниями уровня обводненности на других болотах исследуемой территории.

*Ключевые слова:* низинный торф, раковинные амебы, гуминовые кислоты, степень гумификации, Западная Сибирь, климатические изменения

DOI: 10.1134/S2587556618040106

**Введение.** Торфяные залежи болот являются ценным природным объектом, хранящим информацию об условиях прошлого.

В южной тайге Западной Сибири наряду с верховыми болотами, занимающими в основном водораздельные пространства, распространены и низинные болота, обычно приуроченные к поймам и первым террасам в долинах рек [3, 15]. Многие из этих болот начали формироваться в бореальном – начале атлантического периода голоцена [4, 6].

Несмотря на большое число экспедиций по болотам центральной части Западной Сибири в 60–70-х годах прошлого века [19], сведения о развитии низинных террасных болот немногочисленны. По материалам экспедиций был определен возраст торфяных отложений и выявлены периоды массового перехода болот из эвтрофной в мезотрофную, и затем олиготрофную стадию развития [19, 20]. Наиболее полное исследование низинных террасных торфяников на юге лесной

зоны Западной Сибири проведено М.К. Барышниковым [3]. Он приводит геоботанические описания современного покрова болот и краткие сведения по стратиграфии торфяных залежей. Однако детальные реконструкции истории формирования болот во всех упомянутых исследованиях отсутствуют.

Помимо истории развития, представляет интерес и чувствительность низинных болот к изменениям климата в голоцене. В настоящее время одним из методов выявления климатических сигналов является сопоставление данных разных объектов между собой [34]. Согласованность их реакции свидетельствует о влиянии фактора регионального масштаба (климатические изменения), а разобщенность – является, скорее всего, следствием воздействия локальных факторов. Такой подход позволяет выявлять воздействие климата даже при помощи методов реконструкции локальных условий среды.

**Таблица 1.** Результаты радиоуглеродного датирования слоев торфа на болоте Самара

№	Глубина, см	Номер лабораторного образца	Данные $^{14}\text{C}$ датирования, лет	Калиброванный возраст ВР, л.н.
1	60–70	ИМКЭС 78	$3045 \pm 40$	3246
2	170–180	ИМКЭС 69	$3865 \pm 40$	4328
3	210–220	ИМКЭС 72	$4255 \pm 40$	4773
4	270–280	ИМКЭС 73	$4740 \pm 40$	5417
5	340–350	СОАН-7879	$7620 \pm 130$	8508

Современные палеоэкологические исследования отличают комплексность и применение нескольких методов реконструкции [31]. Согласованность результатов разных методов позволяет подтвердить данные одного метода другим. Кроме того, каждый метод может выявить уникальные особенности среды прошлого, за счет чего повышается информативность реконструкции. За последние два-три десятилетия широкое распространение в палеоэкологии получили ризоподный анализ торфа и спектрофотометрическая оценка степени гумификации. Они позволяют не только восстановить локальные условия природной среды, но и количественно оценить динамику уровня обводненности болота в процессе его развития. Кроме того, в целях диагностики и реконструкции палеоприродной среды могут быть использованы физико-химические свойства гуминовых кислот (ГК), что подтверждает успешный опыт их изучения в различных погребенных почвах плиоцен-голоценового возраста. Данная работа – одна из первых попыток применить физико-химические характеристики ГК как компоненты “памяти” для палеоэкологической реконструкции в торфяной залежи болота по аналогии с изучением палеопочв [11, 12, 17].

Цель нашего исследования – реконструировать историю развития торфяной залежи низинного болота в условиях меняющейся природной среды и климата голоцена при помощи комплекса разных палеоэкологических методов.

**Объекты и методы.** Район исследований находится в пределах южной тайги Западной Сибири на левобережье р. Оби. Широкое распространение низинных болот в этом районе обусловлено высокой минерализацией грунтовых вод и обогащенностью подстилающих пород карбонатами [29]. Эти факторы значительно сдерживают олиготрофикацию болот в процессе их развития. Заболачивание в долинах рек в этом районе происходило путем затопления лесных растительных сообществ [4, 7, 22]. В современных условиях общая заболоченность территории составляет 36% [1]. На долю эвтрофных террасных болот приходится 7%. Среди них преобладают кедрово-березовые, сосново-березово-гипновые, березово-

кедрово-сосновые эвтрофные болотные урочища [18].

Для исследований выбран болотный массив “Самара”, расположенный на первой надпойменной террасе левого пологого берега р. Бакчар (рис. 1) и протянувшийся на 40 км до ее слияния с р. Галка (ширина массива 0.5–2 км, расстояние до речного русла 200–800 м;  $56^{\circ}55'$  с.ш.,  $82^{\circ}30'$  в.д.). Перпендикулярно основному руслу реки болотный массив пересекают внутриболотные ручьи. Торфяной разрез заложен на открытой части болота (площадь 120 га) на расстоянии 100 м от ее окраины (см. рис. 1). В месте заложения торфяного разреза развит кустарничково-осоково-гипновый фитоценоз. Мощность торфяной залежи в данной точке 350 см. Залежь подстилается карбонатными суглинками и глинами.

Отбор образцов торфа произведен ручным геологическим буром ТБГ–1 в сентябре 2013 г., послойно с интервалом 10 см.

Радиоуглеродное датирование образцов торфа выполнено в лаборатории геологии и палеоклиматологии кайнозоя в Институте геологии и минералогии СО РАН Л.А. Орловой и в лаборатории биоинформационных технологий ИМКЭС СО РАН Г.В. Симоновой при помощи ультра-низкофонового жидкостинтилляционного спектрометра Quantulus 1220 (табл. 1). Полученные даты откалиброваны в программе CALIB 7.1. (<http://calib.qub.ac.uk/calib/>). Далее в тексте статьи используется калиброванный возраст в системе исчисления от настоящего времени.

Сукцессия растительности на болоте реконструирована на основе ботанического анализа торфа, выполненного Е.М. Волковой (Тулский государственный университет) по стандартной методике [16, 28]. Зольность торфа определена в соответствии с ГОСТом [10].

Для выявления локальной динамики увлажнения применен анализ степени гумификации торфов [33] и расчет глубины уровня болотных вод (УБВ) по данным ризоподного анализа (анализ раковинных амёб в торфе) [23, 35].

Степень гумификации оценена путем экстрагирования проб торфа 8% раствором щелочи с последующим просвечиванием экстракта на

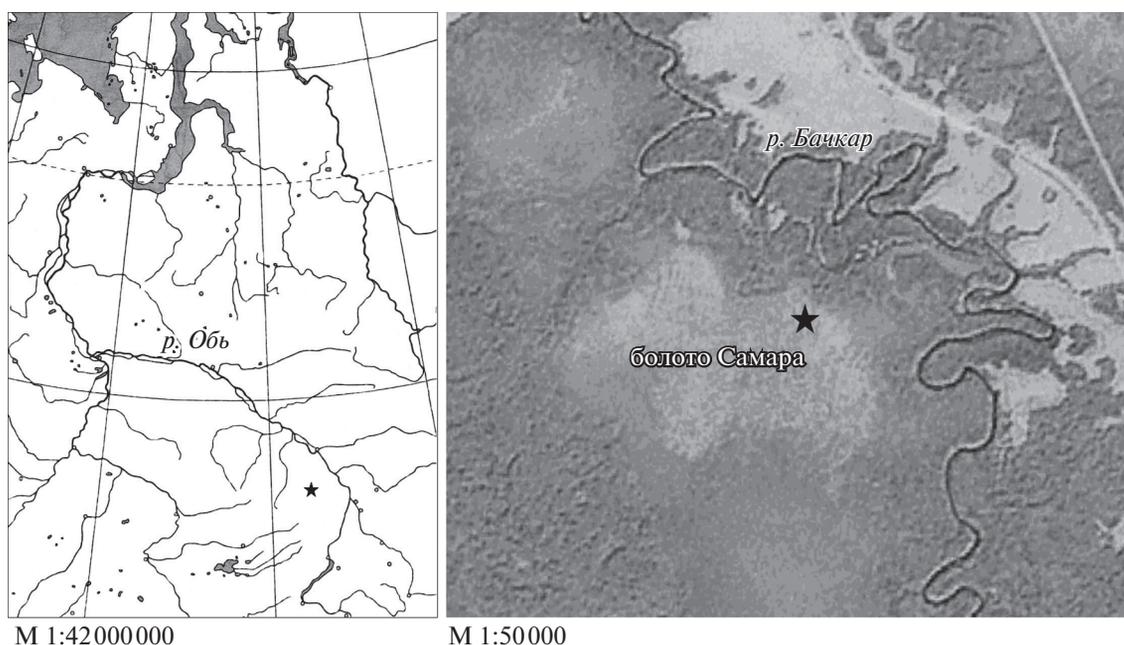


Рис. 1. Карта расположения района и объекта исследований. Звездочкой отмечено место заложения торфяного разреза.

спектрофотометре UV-1601 (PC) Shimadzu (длина волны 540 нм). Полученные значения выражены индексом гумификации (Ih).

Расчет УБВ произведен на основе экологических оптимумов видов раковинных амёб при помощи трансферной функции [36] (программное приложение PAST 1.87).

Для получения более подробной информации о состоянии природной среды во время формирования болота рассмотрены отдельные физико-химические параметры гуминовых кислот: оптическая плотность ГК при разных длинах волн  $E_{465}$  и  $E_{650}$  и рассчитанный на их основе коэффициент  $E_4/E_6$ , а также отношение оптических плотностей полос поглощения при  $A_{2920}(C_{alif})$  и  $A_{1610}(C_{ar})$  по данным инфракрасной (ИК)-спектроскопии.

Согласно двучленности строения молекулы ГК [26], она представлена ароматической и алифатической частью, каждая из которых содержит функциональные группы. Эти свойства молекулы отражены в инфракрасных спектрах полосами высокой интенсивности за счет валентных колебаний алифатического углерода в области 2920–2860  $cm^{-1}$  и ароматического углерода в области 1610–1630  $cm^{-1}$ . Поэтому по величине отношения ( $A_{2920}/A_{1610}$ ) можно судить о развитии той или иной части молекулы ГК. Коэффициент  $E_4/E_6$  часто используется для описания степени конденсации ароматических структур в молекуле ГК. Чем ниже его значение, тем выше степень конденсированности ароматических фрагментов и степень их сформированности [26]. В сухих и теп-

лых условиях образуются ГК с хорошо сформированной ароматической частью и небольшой алифатической частью. В холодных и влажных условиях формируются ГК с большей долей периферической части [12].

ГК извлечены 0.1 н раствором NaOH без нагревания, осаждены из экстракта 10% раствором соляной кислоты (HCl), отмыты водой до нейтральной реакции и высушены при комнатной температуре. Электронные спектры поглощения 0.001%-ных водных растворов ГК зарегистрированы на ультрафиолетовом (УФ)-спектрофотометре UVIKON 943 в диапазоне длин волн 190–700 нм. Регистрация ИК-спектров ГК проведена на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet 5700, анализ образцов проведен по методу прессования с бромистым калием (KBr) в отношении 1:100 соответственно, в интервале значений частоты от 500 до 4000  $cm^{-1}$ .

**Результаты исследований. Строение торфяной залежи, возрастная модель и скорость торфонакопления.** На основе ботанического анализа торфа в истории формирования болота выделены следующие стадии (рис. 2):

**Стадия 1.** (350–340 см, 8500–8100 л.н.) – придонный слой торфа состоит из остатков болотных трав (*Phragmites*, *Typha*, *Calla*) и осок. Отмечена высокая доля остатков хвоща. Присутствуют гипновые мхи и единичные остатки ели.

**Стадия 2.** (340–310 см, 8100–7000 л.н.) – торф состоит из остатков тростника (*Phragmites*), болотных трав и осок. Доля хвоща снижается.

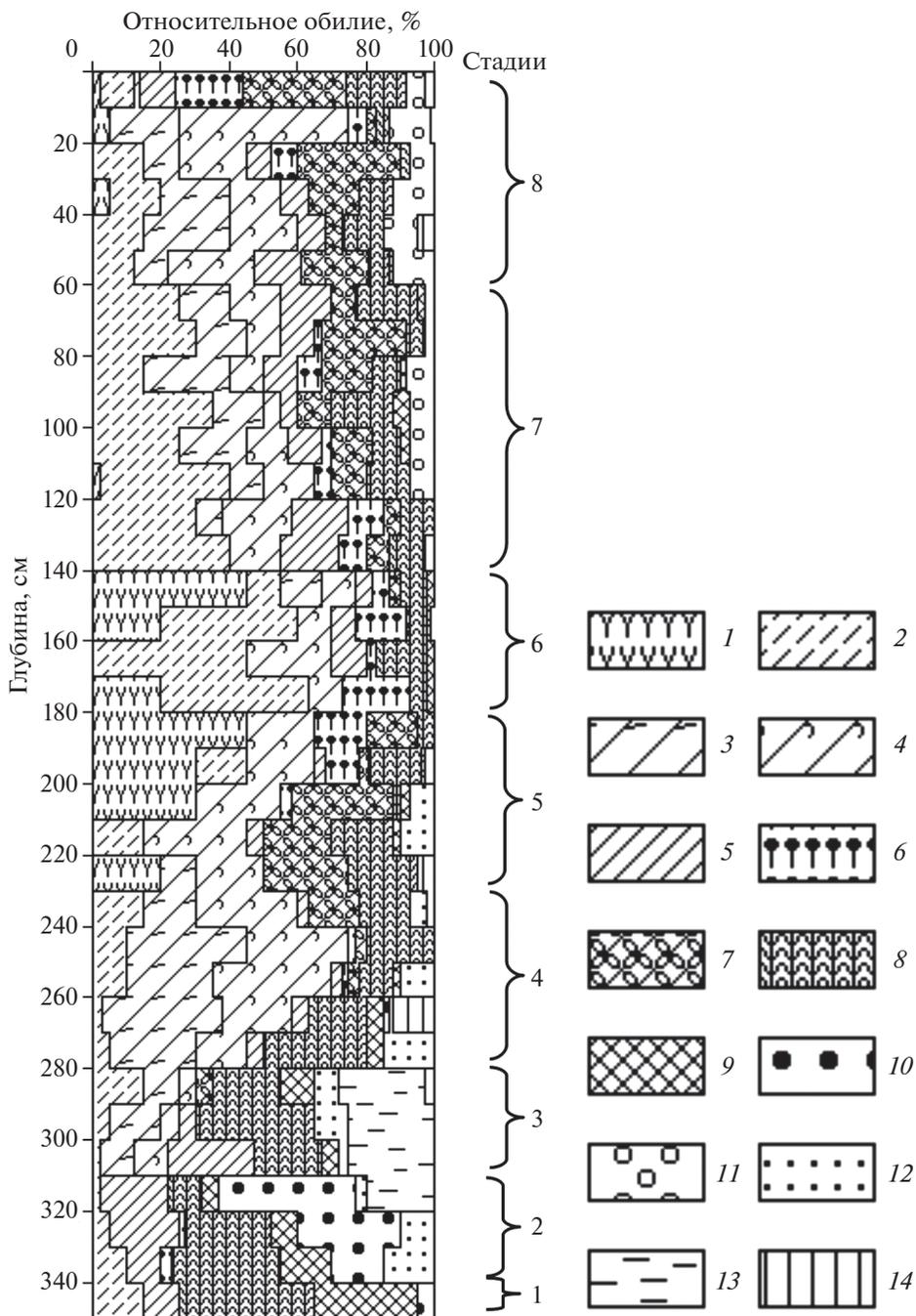


Рис. 2. Строение торфяной залежи по данным ботанического анализа торфа. 1 – *Drepanocladus*, 2 – гипновые мхи, 3 – *Carex chordorrhiza*, 4 – *C. lasiocarpa*, 5 – другие осоки, 6 – белокрыльник, 7 – вахта, 8 – другие виды болотных трав, 9 – хвощ, 10 – тростник, 11 – веерник, 12 – другие виды злаков, 13 – листовый опад, 14 – древесина.

**Стадия 3.** (310–280 см, 7000–5400 л.н.) – торф образован остатками болотных трав и осок. Доля тростника уменьшается, а осок – возрастает. Отмечено высокое содержание листового опада в торфе, а также единичное присутствие древесины лиственных пород.

**Стадия 4.** (280–230 см, 5400–4900 л.н.) – торф образован остатками осок с преобладанием *Carex*

*chordorrhiza*. Также представлены *C. lasiocarpa*, *C. rostrata*, *C. vesicaria*. Встречены остатки болотных трав (*Calla*, *Menyanthes*, *Scirpus*) и злаков. Обнаружены единичные остатки хвоща, древесины ели, ивы и лиственных пород.

**Стадия 5.** (230–180 см, 4900–4300 л.н.) – торф представлен остатками болотных трав, осок и гипновых мхов. В нем возрастает содержание вах-

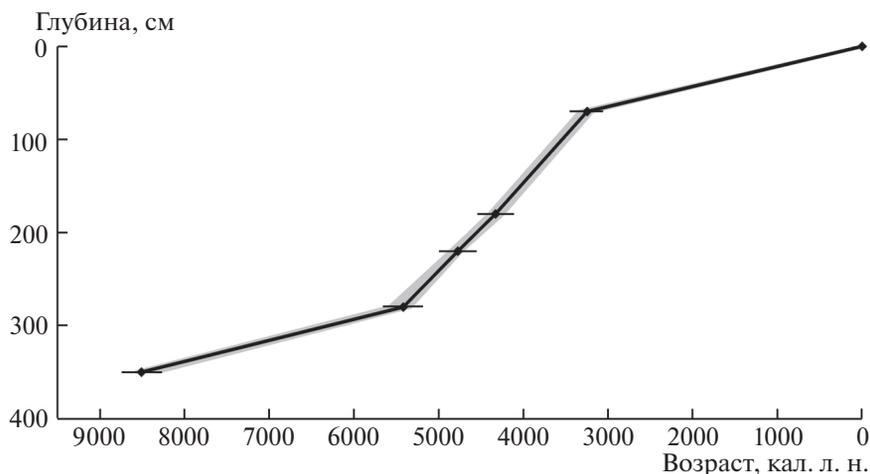


Рис. 3. Модель “глубина–возраст” торфяного разреза болота Самара. Областью серого цвета представлена вероятность определения возраста с погрешностью 1 сигма ( $1\sigma$ ).

ты (*Menyanthes*), белокрыльника (*Calla*), гипновых мхов (*Drepanocladus*). Среди осок доминирует *Carex lasiocarpa*. Отмечено единичное содержание древесины лиственных пород и ивы.

**Стадия 6.** (180–140 см, 4300–4000 л.н.) – в торфе доминируют остатки гипновых мхов (*Drepanocladus*, *Calliergon*, *Brachithecium*). Среди осок преобладает *Carex lasiocarpa*, а среди болотных трав – *Calla*.

**Стадия 7.** (140–60 см, 4000–2800 л.н.) – торф образован остатками осок, болотнотравья, гипновых мхов. Доля осок возрастает, а содержание гипновых мхов снижается. Среди осок преобладают *Carex chordorhiza* и *C. lasiocarpa*, также обнаружены остатки *C. vesicaria*, *C. canescens*, *C. riparia*, *C. rostrata*, *C. pseudocyperus*. Высоко и видовое богатство болотных трав, среди которых доминирует вахта, также встречены остатки: *Calla*, *Comarum*, *Filipendula*, *Scirpus*, *Typha* и *Triglochin*.

**Стадия 8.** (60–0 см, 2800–0 л.н.) – в торфе преобладают остатки болотных трав (*Menyanthes*, *Calla*, *Comarum*, *Eriophorum angustifolium*, *Naumburgia*, *Scirpus*, *Typha*) и осок. Возрастает содержание вейника (*Calamagrostis*). Отмечено единичное присутствие хвоща и древесины лиственных пород.

В целом торфяная залежь представлена разными видами низинного торфа. Смены палеофитоценозов в процессе сукцессии происходили постепенно.

По данным радиоуглеродного датирования и мощности торфяной залежи построена модель “глубина–возраст” (рис. 3). Согласно ей выделяются 3 периода с различной скоростью торфонакопления. На начальном этапе болотообразования торф накапливался очень медленно (0,21 мм/год). Этот период длился 3100 лет. Затем скорость тор-

фонакопления возросла до 0,9–1 мм/год. С такой интенсивностью торф накапливался в период с 5400 по 3300 л.н. Потом скорость нарастания торфяной залежи вновь стала низкой (0,23 мм/год). Медленное торфонакопление на первом этапе болотообразования мы объясняем проточностью условий увлажнения. Постепенное нарастание мощности торфяной залежи привело к ухудшению проточности. Это стало причиной увеличения скорости торфонакопления. Затем опережающее нарастание торфяной залежи в центре болотного массива Самара обусловило формирование гидрологического стока из центра к окраине и привело к замедлению торфонакопления в точке заложения торфяного разреза.

**Реконструкция локальной динамики увлажнения на болоте.** Ризоподный анализ торфа позволил реконструировать УБВ в процессе развития болота. Амплитуда значений УБВ относительно небольшая (8 см). Динамика УБВ хорошо согласуется с динамикой  $I_h$ , за исключением слоев торфа на глубине 330–310 и 300 см (соответственно 7600–7000 и 6300 л.н.), когда наблюдается взаимнообратный ход кривых этих показателей (рис. 4).

В соответствии с динамикой УБВ и  $I_h$  увеличение уровня обводненности болота происходило 8500–8100, 6800–6300, 5900–5400, 4800, 4500–3600, 3300–2800, 1400–900 л.н., а снижение уровня обводненности 8100–7600, 5400–5200, 5000–4800, 3500, 2300–1900 л.н. Наибольшие вариации УБВ наблюдались 4500–3300 л.н., в то время как значения  $I_h$  в этот период, наоборот, практически не менялись.

Амплитуда колебаний  $I_h$  и УБВ различается: в одних слоях торфа сильнее вариации значений  $I_h$ , в других – УБВ (см. рис. 4). По нашему мнению, это обусловлено разной чувствительностью биоиндикаторов: растений и одноклеточных ор-

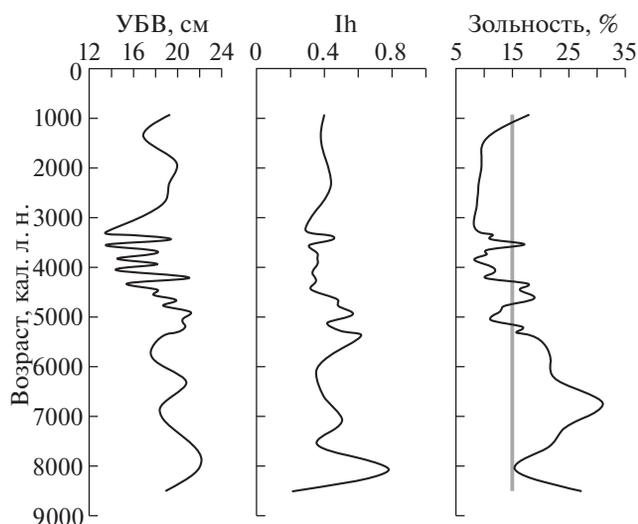


Рис. 4. Динамика показателей УБВ, Ih и зольности в торфяной залежи. Серой линией отмечено пороговое значение нормальнозольных торфов.

ганизмов, по остаткам которых мы можем судить о динамике обводненности болота.

**Изменение зольности торфов.** Низинные болота в долинах рек отличаются повышенной и неоднородной по глубине залежи зольностью торфов, по сравнению с водораздельными торфяниками. Это объясняется тем, что такие болота испытывают влияние вод разного происхождения. Кроме атмосферных и грунтовых вод, они, как правило, дополнительно подпитываются речными водами, в результате чего происходит обогащение торфа зольными элементами [25]. Нередко такие болота на разных стадиях развития претерпевают вторичные изменения торфяных пластов, что проявляется в их повышенной зольности. Особенно чувствительны к воздействию поверхностного стока окраинные части торфяных болот [24].

Зольность торфа в исследуемой торфяной залежи варьирует от 8 до 31% (см. рис. 4). Эти значения соответствуют низинному типу торфа. По оценкам разных авторов, за верхний предел зольности нормальнозольных торфов приняты значения от 10 до 15% [21, 25]. Торф с более высокой зольностью считается сформированным под влиянием экзогенных процессов.

В торфяной залежи пики зольности, превышающие пороговое значение, выявлены в периоды: 8500–5400, 4700–4400, 3600 л.н. Это может свидетельствовать о дополнительном поступлении минеральных веществ в периоды разлива р. Бакчар во время паводков, которые, судя по всему, были довольно частым явлением. Также дополнительный привнос минеральных веществ мог осуществляться за счет увеличения уровня поверхностного стока. Эти явления, наиболее вероятно,

определялись периодами увеличения влажности климата. Повышенная зольность придонного слоя торфа объясняется влиянием подстилающих пород в начале болотообразования.

Около 5000 л.н. водно-минеральный режим болота стабилизировался и обеспечивался в основном за счет поверхностно-сточного, грунтового и атмосферного питания. Это привело к формированию нормальнозольных торфов с зольностью менее 15%. Однако периодические подтопления поверхности болота изредка случались. Об этом свидетельствуют прослойки торфа с высокой зольностью на глубине 210–180 см и 100 см (соответственно 4800–4400 и 3600 л.н.).

**Физико-химические свойства молекулярной структуры гуминовых кислот торфов.** Результаты анализа физико-химических параметров структуры ГК позволили выявить в профиле торфяной залежи зоны, различающиеся по характеру гумсонакопления. ГК слоев торфа, соответствующих периодам 7400–7000, 5200–4600, 3300–2300 л.н., характеризуются низкими значениями коэффициента  $E_4/E_6$  в (рис. 5). Торф в этих слоях представлен травяным и осоковым видами. В молекулах ГК выявлено увеличение доли ароматических фрагментов, что проявилось в уменьшении отношения  $C_{alif}/C_{ar}$  (см. рис. 5). Такая “зрелая” структура молекул ГК могла формироваться в теплых условиях при пониженном уровне обводненности болота.

Высокие значения коэффициента  $E_4/E_6$ , свидетельствующие о крайне низкой ароматичности ГК и разветвленном строении периферической части молекулы, выявлены в периоды 6600–5200, 4300–3800, 3500–3300 л.н. Отличительной чертой ГК этих слоев является высокое значение отношения  $C_{alif}/C_{ar}$ , которое достигло практически 1, что указывает на развитость периферической части молекулы при малом участии связей бензоидных структур (см. рис. 5). Значит, ГК формировались в более холодных и влажных условиях.

**Обсуждение результатов.** Сопоставление данных разных методов позволило восстановить историю формирования торфяной залежи болота и существовавших условий природной среды.

8500 л.н. на первой надпойменной террасе р. Бакчар на левом пологом берегу создались благоприятные условия для заболачивания. Это совпало с периодом увеличения влажности климата [2, 32]. Первоначально сформировался болотно-травяной фитоценоз с участием разных видов трав. Единичные остатки древесины в торфе свидетельствуют о существовании древесного яруса на болоте на первых этапах его развития.

8100 л.н. произошло обсыхание поверхности болота. На это указывают значения Ih и УБВ. Исследования других болот также свидетельствуют о более сухих условиях в этот период [2, 32]. Оче-

видно, синхронное снижение уровня обводненности болот было обусловлено изменением климата.

Последовавшее возрастание влажности климата способствовало повышению уровней воды в реках. В этот период (7700–5400 л.н.) первая терраса, на которой развивалось болото, ежегодно испытывала влияние вод разного происхождения (речные, грунтовые и поверхностно-сточные), что обеспечивало дополнительный привнос минеральных взвесей и частично растворенного материала на поверхность болота. В условиях богатого водно-минерального питания сформировались высокозольные торфа. Наибольший пик зольности (7000 л.н.) по времени совпадает с сильным обводнением, реконструированным на другом болоте [27]. На повышение влажности климата в это время указывают и данные реконструкции палеоосадков в подзоне южной [32] и средней тайги Западной Сибири [8, 9]. Торфа, сформированные в этот период, характеризуются низким содержанием ГК, что, возможно, связано с их частичным выносом из торфа при интенсивном и длительном затоплении. Кроме того, аккумуляции гумусовых веществ в этих слоях мог препятствовать постоянный приток речных наносов, оседавших на поверхности болота.

На наличие проточности условий увлажнения указывает доминирование остатков хвоща и тростника в придонных слоях торфа. Так, по наблюдениям разных авторов [4, 30] тростниковые сообщества, как наиболее солевыносливые, характерны для окраин низинных болот и занимают мелкозалежные участки с заметной проточностью, в условиях большой степени влияния грунтовых вод. О наличии проточности свидетельствует и низкая скорость торфонакопления [14]. Кроме того, такой режим был необходимым условием и для сохранения листового опада в торфе. Дело в том, что листья деревьев обычно полностью разлагаются. В данной залежи они сохранились, по-видимому, за счет слоя воды, длительное время стоявшей на поверхности болота.

Показатели  $I_h$  и УБВ отражают вариации уровня обводненности на начальном этапе развития болота. Именно в этот период динамика  $I_h$  и УБВ имеет расхождения, причины которых не совсем ясны. С одной стороны, в этих достаточно древних слоях торфа наблюдается низкая концентрация раковин амеб. Вероятно, произошло разрушение части их палеокомплексов. С другой стороны, в торфе выявлено низкое содержание ГК. Мы предполагаем, что частичные потери биоиндикаторного материала могли привести к искажению значений УБВ и  $I_h$  в этот период. К реконструкции водного режима в таких случаях следует подходить с осторожностью.

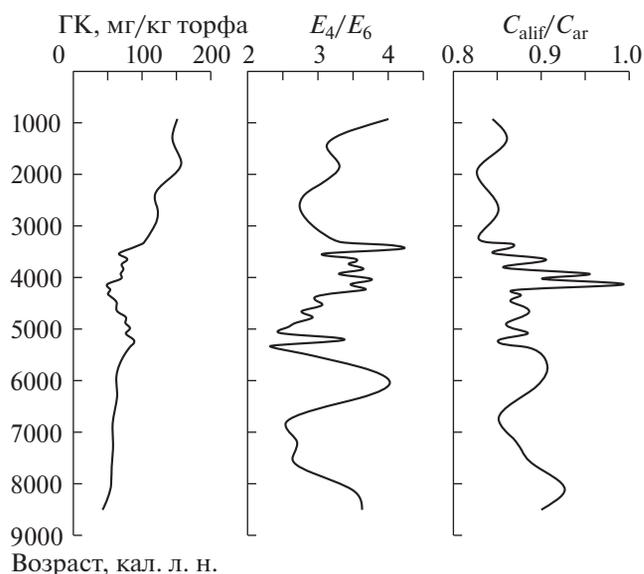


Рис. 5. Изменение содержания ГК, коэффициента  $E_4/E_6$  и оптических полос поглощения  $A_{2920}/A_{1610}$ , характеризующего валентные колебания алифатического ( $C_{alif}$ ) и ароматического углерода ( $C_{ar}$ ) соответственно, в молекуле ГК в профиле торфяного разреза.

5400 л.н. произошла смена вида торфа с низинного травяного на осоковый. На болоте сформировался болотнотравно-осоковый фитоценоз с редким участием лиственных древесных пород. Мы считаем, что в это время нарастание торфяной залежи привело к уменьшению проточности. Скорость торфонакопления на болоте значительно возросла. В этот период формируется нормальнозольный торф, что указывает на прекращение поступления минерального материала извне. По данным  $I_h$  и УБВ уровень обводненности болота несколько снижается. Наибольшее обсыхание отмечено 5000–4800 л.н. Оно отражено и на других болотах [5, 27, 32]. Откликом на сложившиеся климатические условия можно считать и усиление процесса гумификации торфов, который отразился как на увеличении содержания ГК, так и на их физико-химических свойствах. Особенности структуры ГК указывают на существование сухих условий с хорошей теплообеспеченностью.

4900 л.н. болотнотравно-осоковый фитоценоз сменяется осоково-гипново-болотнотравным. Согласно значениям  $I_h$  и УБВ в период 4800–4500 л.н. прослеживается тенденция повышения уровня обводненности болота. Аналогичное повышение обводнения наблюдалось и на других болотах [27, 32].

В итоге, 4300 л.н. на болоте формируется гипновый фитоценоз с доминированием влаголюбивого вида *Drepanocladus fluitans*. Судя по полному отсутствию остатков древесины в торфе, сформирова-

ровалось открытое болото. О наибольшем уровне обводненности в данный период (4300–4000 л.н.) свидетельствует не только увеличение доли гидрофильных растений в торфе, но и значения  $I_h$  и УБВ. Очень высокий уровень обводненности в это время отмечен и на другом болоте данного района [27].

4000–2800 л.н. гипновый фитоценоз на болоте сменяется гипново-болотнотравно-осоковым. В этот период происходит замедление скорости торфонакопления. На глубине 100 см (3600 л.н.) регистрируется очень высокая зольность торфа, а УБВ и  $I_h$  указывают на повышение уровня обводненности. По-видимому, в это время вновь происходили разливы реки или был увеличен уровень поверхностного стока, обусловленные, вероятно, возрастанием влажности климата. Кратковременное повышение уровня обводненности наблюдалось и на других болотах [5, 27, 32]. Затем 3500 л.н. произошло обсыхание поверхности изучаемого болота, а также других болот южнотаежной подзоны [27, 32].

О стабильных условиях обводнения в период 4300–3300 л.н. можно судить и по физико-химическим параметрам структуры ГК торфов. В это время выявлены высокие значения коэффициента  $E_4/E_6$  и  $C_{\text{alit}}/C_{\text{ar}}$ . Мы считаем, что данные параметры ГК могут откликаться не только на условия высокой обводненности болота, но и на общее снижение теплообеспеченности в этот период, что согласуется с данными палеоклиматической кривой температуры [32]. Кроме того, об изменениях условий в сторону похолодания также свидетельствует снижение интенсивности процесса гумусонакопления, что выражается в резком уменьшении содержания ГК в торфах.

По мере дальнейшего развития болота, постепенно в составе болотного фитоценоза происходят небольшое снижение доли гипновых мхов и увеличение доли осок. В результате в период с 2800 л.н. по настоящее время формируется вахтово-осоковый фитоценоз, в котором преобладают осоки *Carex chordorhiza*, *C. lasiocarpa* и вахта. Единичное содержание древесины лиственных пород в торфе отражает образование на болоте редкого древесного яруса. В период 2800–1900 л.н. УБВ и  $I_h$  отражают некоторое снижение обводненности. Обсыхания наблюдались в это время и на других болотах [5, 8, 27, 32].

Уменьшение УБВ на глубине 30 см соответствует влажному потеплению, отмечаемому другими авторами для юга Западной Сибири в период 1200–1000 л.н. [2, 5, 27, 32].

В настоящее время на исследуемом болотном участке развит кустарничково-осоково-гипновый фитоценоз. По нашим наблюдениям, появление в современных условиях отдельных сфагновых кочек в центральной открытой части боло-

та Самара указывает на начало олиготрофизации. По-видимому, в дальнейшем болото может стать олиготрофным. Хотя в сложившихся условиях этот процесс происходит очень медленно.

**Заключение.** Комплексный палеоэкологический анализ торфяной залежи низинного террасного болота показал, что его развитие предопределили такие экзогенные факторы локального масштаба, как геоморфологическое положение в долине реки, характер и направление линий гидрологического стока, высоко минерализованные грунтовые воды. В течение всего периода формирования болота сохранялся довольно высокий уровень его обводненности. Однако водно-минеральный режим питания значительно изменялся.

Климатические изменения, происходившие в голоцене, проявились в свойствах торфяной залежи данного низинного болота. Этот факт подтверждается наличием синхронных однонаправленных реакций разных болот в районе исследований. Наиболее чувствительными к воздействию климатических изменений оказались показатели степени гумификации и уровня болотных вод, реконструируемого по данным ризоподного анализа.

**Благодарности.** Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-34-60057) и гранта Томского научного центра СО РАН.

**Acknowledgments.** This work was supported partially by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 16-34-60057 and Tomsk Scientific Center, SB RAS.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева М.Н., Прейс Ю.И., Дюкарев Е.А. Пространственная структура наземного растительного покрова и типа верхнего слоя торфа северо-восточных отрогов большого васюганского болота по дистанционным и наземным данным // Изв. ТПУ. 2015. Т. 326. № 4. С. 81–90.
2. Архипов С.А., Волкова В.С. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Новосибирск: НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1994. 105 с.
3. Барышников М.К. Осоково-гипновые болота Западного Васюганья // Бюлл. Института луговой и болотной культуры им. проф. В.Р. Вильямса. М., 1929. С. 1–38.
4. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / под ред. О.Л. Лисса и др. / отв. ред. В.Б. Куваев. Тула: Гриф и К, 2001. 584 с.
5. Веретенникова Е.Э., Курьина И.В., Ильина А.А., Савельев В.В. Реконструкция гидротермических условий формирования грядово-мочажинного комплекса в голоцене на юге Западной Сибири // Вестн. Томского ун-та. Сер. Биология. 2014. № 3 (27). С. 6–22.

6. Волкова В.С., Белова В.А. О роли широколиственных пород в растительности голоцена Сибири // Палеопалинология / отв. ред. В.Н. Сакс. М.: Наука, 1980. С. 112–117.
7. Глебов Ф.З. Взаимоотношения леса и болота в таежной зоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. 184 с.
8. Глебов Ф.З., Карпенко Л.В., Климанов В.А., Миндеева Т.Н. Палеоэкологический анализ торфяного разреза на водоразделе Оби и Васюгана // Сиб. экол. журн. 1996. № 6. С. 497–504.
9. Глебов Ф.З., Карпенко Л.В., Климанов В.А., Миндеева Т.Н. Палеоэкологический анализ торфяного разреза “Назино” (среднетаежная подзона Западной Сибири) // Сиб. экол. журн. 2001. № 6. С. 683–688.
10. ГОСТ 11306-83. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности.
11. Дергачева М.И. Гумусовые вещества как источник информации о природной среде формирования // Изв. аграрной науки. 2011. Т. 9. № 2. С. 57–61.
12. Дергачева М.И., Зыкина В.С. Органическое вещество ископаемых почв. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. 129 с.
13. Дергачева М.И., Некрасова О.А., Оконешникова М.В., Васильева Д.И., Гаврилов Д.А., Очур К.О., Ондар Е.Э. Соотношение элементов в гуминовых кислотах как источник информации о природной среде формирования почв // Сиб. экол. журн. 2012. № 5. С. 667–676.
14. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
15. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М.: Географгиз, 1948. 320 с.
16. Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Н.И. Атлас растительных остатков в торфах. М.: Недра, 1989. 376 с.
17. Ковалева Н.О. Почвы как индикатор изменений климата последних 30 тысяч лет в горных регионах Средней Азии // Доклады по экологическому почвоведению. 2006. Т. 2. № 2. С. 1–20.
18. Ландшафты болот Томской области / под ред. Н.С. Евсеевой. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. 400 с.
19. Лисс О.Л., Березина Н.И. Болота Западно-Сибирской равнины. М.: МГУ, 1981. 208 с.
20. Лисс О.Л., Березина Н.А., Куликова Г.Г. Возраст болот центральной части Западно-Сибирской равнины // Природные условия Западной Сибири. М.: МГУ. 1976. Вып. 6. С. 69–85.
21. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 320 с.
22. Львов Ю.А. Характер и механизмы заболачивания территории Томской области // Теория и практика лесного болотоведения. Красноярск. 1976. С. 36–44.
23. Рахлеева А.А., Корганова Г.А. К вопросу об оценке численности и видового разнообразия раковинных амёб (*Rhizopoda*, *Testacea*) в таежных почвах // Зоол. журн. 2005. Т. 84. № 12. С. 1427–1436.
24. Минкина Ц.И. Некоторые особенности мелкозалежных окраек торфяных болот // Труды Института леса. М.: изд-во Академии Наук СССР, 1955. Т. XXXI. С. 157–166.
25. Никонов М.Н. Происхождение и состав золы торфов лесной зоны // Труды института леса АН СССР. М.: Лесная промышленность, 1955. С. 135–152.
26. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.
27. Преис Ю.И., Курьина И.В. Палеореконструкция высокого разрешения по данным комплексного исследования торфяных отложений южной тайги Западной Сибири // Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота / отв. ред. М.В. Кабанов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. С. 14–38.
28. Тюремнов С.Н., Ларгин И.Ф., Ефимова С.Ф., Скобеева Е.И. Торфяные месторождения и их разведка. М.: Недра, 1977. 264 с.
29. Уфимцева К.А. Почвы южной части таежной зоны Западно-Сибирской равнины. М.: Колос, 1974. 202 с.
30. Храмов А.А., Валуцкий В.И. Лесные и болотные фитоценозы Восточного Васюганья. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1977. 224 с.
31. Blundell A., Barber K. A 2800-year palaeoclimatic record from Tore Hill Moss, Strathspey, Scotland: the need for a multi-proxy approach to peat-based climate reconstructions // Quaternary Sci. Rev. 2005. № 24. P. 1261–1277.
32. Blyakharchuk T.A. Western Siberia, a review of Holocene climatic changes // J. of Siberian Federal University. Biology. 2009. № 1 (2). P. 4–12.
33. Chambers F.M., Blackford D.W., Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics // Mires and Peat. 2011. V. 7 (2010/11). P. 1–10.
34. Loisel J., Garneau M. Late Holocene paleoecohydrology and carbon accumulation estimates from two boreal peat bogs in eastern Canada: Potential and limits of multi-proxy archives // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2010. № 291. P. 493–533.
35. Mitchell E.A.D., Charman D.J., Warner B.G. Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future // Biodivers Conserv. 2008. № 17. P. 2115–2137.
36. ter Braak C.J.F., van Dam H. Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods // Hydrobiologia. 1989. № 178. P. 209–223.

## Reconstruction of conditions of formation of the eutrophic peatland deposits in south of the taiga zone of Western Siberia

I. V. Kurina<sup>1,\*</sup>, E. E. Veretennikova<sup>1</sup>, A. A. Il'ina<sup>2</sup>, E. A. Dyukarev<sup>1</sup>,  
E. A. Golovatskaya<sup>1</sup>, and S. V. Smirnov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of monitoring of climatic and ecological systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

\*e-mail: irina.kuryina@yandex.ru

Received December 12, 2016

Accepted March 22, 2018

The paleoecological study of the peat deposit of the floodplain terrace eutrophic peatland located in south of the taiga zone of Western Siberia was carried out. The work is based on an integrated approach including the following methods: radiocarbon dating, macrofossil analysis, rhizopod analysis, humification degree and physico-chemical characteristics of humic acids of peats. Comparison of the results obtained by different methods allowed us to reconstruct the history of the development of floodplain terrace eutrophic peatland determined by the local hydrological, geomorphological and geochemical conditions on the background of climate change. At the first stage of development, the peatland was often flooded by the river, which provided additional introduction of mineral matters and followed by increased ash content of peat. Then the influence of the river had weakened, and the growth of the peat deposit was more determined by the factors of endogenous peat bog formation and the level of surface hydrological runoff. This led to the formation of peats with normal ash content; hygrophytic grasses were replaced with sedges and hypnum plant assemblages. The eutrophic peatland showed the highest sensitivity to climate change over the last 8500 years. It is confirmed with synchronous variations of surface wetness in different bogs of the study area.

**Keywords:** minerotrophic peat, testate amoebae, humic acids, humification, Western Siberia, climatic changes.

### REFERENCES

1. Alekseeva M.N., Preis Y.I., and Dyukarev E.A. The spatial structure of terrestrial vegetation cover and the type of the upper layer of peat of northeastern spurs of Great Vasyugan Bog on the remote and land-based data. *Izv. TPU*, 2015, vol. 326, no. 4, pp. 81–90. (In Russ.).
2. Arkhipov S.A. and Volkova V.S. *Geologicheskaya istoriya, landshafty i klimaty pleistotsena Zapadnoi Sibiri* [Geological History, Landscapes and Climates of the Pleistocene of Western Siberia]. Novosibirsk: JIGGM SB RAS, 1994. 105 p.
3. Baryshnikov M.K. Sedge-hypnum Mires of the Western Vasyugan. *Bjull. Instituta Lugovoi i Bolotnoi Kul'tury Im. Prof. V.R. Vil'yamsa*, Moscow, 1929, pp. 1–38. (In Russ.).
4. *Bolotnye sistemy Zapadnoi Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie* [Mires of Western Siberia and their Conservation Value], Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A. et. al., Eds. Tula: Grif i K Publ., 2001. 584 p.
5. Veretennikova E.E., Kurina I.V., Il'ina A.A., and Savel'ev V.V. Palaeoenvironmental reconstruction of a Holocene peat bog ridge-hollow complex in the south of Western Siberia. *Vest. Tomskogo Gosudarstvennogo Univ., Biologiya*, 2014, no. 3 (27), pp. 6–22. (In Russ.).
6. Volkova V.S. and Belova V.A. On the role of broad-leaved species in the Holocene vegetation in Siberia, In *Paleopalynologiya* [Paleopalynology]. Moscow: Nauka Publ., 1980, pp. 112–117. (In Russ.).
7. Glebov F.Z. *Vzaimootnosheniya lesa i bolota v taezhnoi zone* [Relations between Forests and Peatlands in Taiga Zone]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. 184 p.
8. Glebov F.Z., Karpenko L.V., Klimanov V.A., and Mindeeva T.N. Paleocological study of peat core in the watershed of the Ob and the Vasyugan. *Sib. Ekol. Zhurn.*, 1996, no. 6, pp. 497–504. (In Russ.).
9. Glebov F.Z., Karpenko L.V., Klimanov V.A., Mindeeva T.N. Paleocological analysis of peat core “Nazin” (middle taiga subzone of Western Siberia). *Sib. Ekol. Zhurn.*, 2001, no. 6, pp. 683–688. (In Russ.).
10. *GOST 11306-83, Torfi i produkty ego pererabotki, Metody opredeleniya zol'nosti* (GOST 11306-83. Peat and its products. Methods for determination of ash).
11. Dergacheva M.I. Humic substances as a source of information about the environment of formation. *Izv. Agrarnoi Nauki*, 2011, vol. 9, no. 2, pp. 57–61. (In Russ.).
12. Dergacheva M.I. and Zykina V.S. *Organicheskoe veshchestvo iskopaemykh pochv* [The Organic Matter of Paleosols]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. 129 p.
13. Dergacheva M.I., Nekrasova O.A., Okonishnikova M.V., Vasil'eva D.I., Gavrilov D.A., Ochur K.O., and Ondar E.Ye. Ratio of Elements in Humic Acids as a source of information on the environment of soil formation. *Sib. Ekol. Zhurn.*, 2012, no. 5, pp. 667–676. (In Russ.).
14. Ivanov K.E. *Vodoobmen v bolotnykh landshaftakh* [Water Exchange in the Mire Landscapes]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1975. 280 p.

15. Kats N.Y. *Tipy bolot SSSR i Zapadnoi Evropy i ikh geograficheskoe rasprostranenie* [Types of Peatlands in the Soviet Union and Western Europe and their Geographical Distribution]. Moscow: Geografiz Publ., 1948. 320 p.
16. Kats N.Y., Kats S.V., and Skobeeva N.I. *Atlas rastitel'nykh ostatkov v torfakh* [Atlas of Plant Residues in Peat]. Moscow: Nedra Publ., 1989. 376 p.
17. Kovaleva N.O. Soils as an indicator of climate change for last 30 thousand years in the mountainous areas of Central Asia. *Doklady po Ekologicheskomu Pochvovedeniyu*, 2006, vol. 2, no. 2, pp. 1–20. (In Russ.).
18. *Landshafty bolot Tomskoi oblasti* [Mire Landscapes of Tomsk Region], Evseeva N.S., Ed. Tomsk: NTL Publ., 2012. 400 p.
19. Liss O.L. and Berezina N.I. *Bolota Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Peatlands of the West Siberian Plain]. Moscow: Moscow St. Univ., 1981. 208 p.
20. Liss O.L., Berezina N.A. and Kulikova G.G. Age of peatlands in the central part of the West Siberian Plain. In *Prirodnye usloviya Zapadnoi Sibiri* [Natural Conditions of Western Siberia]. Moscow: MSU, 1976, no. 6, pp. 69–85. (In Russ.).
21. Lishtvan I. I. and Korol' N. T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ikh opredeleniya* [The Main Properties of Peat and Methods of their Determination]. Minsk: Nauka i tehnika Publ., 1975. 320 p.
22. Lvov Yu.A. The nature and the mechanisms of eutrophication in Tomsk region. In *Teoriya i praktika lesnogo bolotovedeniya* [Theory and Practice of Forestry Peatlands Study]. Krasnoyarsk, 1976, pp. 36–44. (In Russ.).
23. Rakhleeva A.A. and Korganova G.A. On the estimation of abundance and species diversity of testate amoebae (Rhizopoda, Testacea) in boreal soils. *Zoologicheskii Zhurnal*, 2005, vol. 84, no. 12, pp. 1427–1436. (In Russ.).
24. Minkina C.I. Some features of low-power peat deposits in edges of peatlands. In *Trudy Instituta lesa* [Forest Research Institute Proceedings]. Moscow: AN SSSR Publ., 1955, vol. 31, pp. 157–166. (In Russ.).
25. Nikonov M.N. The origin and composition of the ash peat in forest zone. In *Trudy instituta lesa AN SSSR* [Proceedings of the Forest Research Institute, Ac. Sc. USSR]. Moscow: Lesnaya promyshlennost Publ., 1955, pp. 135–152. (In Russ.).
26. Orlov D.S. *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii* [Humic Soil Acids and General Theory of Humification]. Moscow: Moscow St. Univ., 1990. 325 p.
27. Preis Yu.I. and Kurina I.V. Paleoreconstruction of high resolution according to a multi-proxy study of peat deposits of the southern taiga of Western Siberia. In *Issledovanie prirodno-klimaticheskikh protsessov na territorii Bol'shogo Vasyuganskogo bolota* [The Study of Natural and Climatic Processes on the Territory of Great Vasyugan Bog], Kabanov M.V., Ed. Novosibirsk: SB RAS, 2012, pp. 14–38. (In Russ.).
28. Tyuremnov S.N., Largin I.F., Efimova S.F., and Skobeeva E.I. *Torfyanye mestorozhdeniya i ikh razvedka* [Peat Deposits and their Exploration]. Moscow: Nedra Publ., 1977. 264 p.
29. Ufimceva K.A. *Pochvy yuzhnoi chasti taezhnoi zony Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Southern Taiga soils of the West Siberian Plain Area]. Moscow: Kolos Publ., 1974. 202 p.
30. Khramov A.A., Valutsky V.I. *Lesnye i bolotnye fitotsenozy Vostochnogo Vasyugan'ya* [Forest and Peatland Plant Communities of the East Vasyugan]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1977. 224 p.
31. Blundell A. and Barber K. A 2800-year palaeoclimatic record from Tore Hill Moss, Strathspey, Scotland: the need for a multi-proxy approach to peat-based climate reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 2005, no. 24, pp. 1261–1277.
32. Blyakharchuk T.A. Western Siberia, a review of Holocene climatic changes. *Journal of Siberian Federal University, Biology*, 2009, no. 1 (2), pp. 4–12.
33. Chambers F.M., Blackford D.W., and Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires and Peat*, 2011, vol. 7 (2010/11), pp. 1–10.
34. Loisel J. and Garneau M. Late Holocene paleoecohydrology and carbon accumulation estimates from two boreal peat bogs in eastern Canada: Potential and limits of multi-proxy archives. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 2010, no. 291, pp. 493–533.
35. Mitchell E.A.D., Charman D.J., and Warner B.G. Testate amoebae analysis in ecological and paleoecological studies of wetlands: past, present and future. *Biodivers Conserv*, 2008, no. 17, pp. 2115–2137.
36. ter Braak C J.F. and van Dam H. Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. *Hydrobiologia*, 1989, no. 178, pp. 209–223.