ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2015, № 2, с. 74–87

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 551.583, 551.8, 551.794

ВОЗДЕЙСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ГРЯДОВО-МОЧАЖИННОГО БОЛОТНОГО КОМПЛЕКСА В ГОЛОЦЕНЕ[1]

© 2015 г. И.В. Курьина, Е.Э. Веретенникова

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия; klimirin@sibmail.com; lena2701@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.09.2014 г.

Приведены результаты комплексного палеоэкологического исследования грядово-мочажинного болотного комплекса на территории южной тайги Западной Сибири на примере двух разрезов “Мочажина” и “Гряда”. Особое внимание уделено обнаружению климатических воздействий на формирование торфяных залежей в голоцене.

Ключевые слова: климатические воздействия, болотный комплекс, гряда, мочажина, тайга Западной Сибири, торф, голоцен.

Исследование торфяных залежей болот как источника информации об условиях их формирования в прошлом привлекает внимание многих ученых [2, 7, 24 и др.]. Закономерности болотообразовательного процесса достаточно полно освещены в литературе. Особый интерес прикован не столько к особенностям развития болот как таковых, сколько к выявлению следов воздействия климатических изменений на их формирование. Однако их не всегда удается обнаружить, так как в процессе развития болото подвергается влиянию других эндогенных и экзогенных факторов. В качестве экзогенных факторов болотообразовательного процесса могут выступать изменения климата глобального и регионального масштаба, различные антропогенные факторы (мелиорация, вырубка леса, пожары и пр.), изменения гидрологического стока территории и рельефа местности [24], но среди них изменения климата являются основными [20].

Существуют разные способы выделения последствий климатических воздействий на развитие болота. Так, изучение нескольких торфяных колонок позволяет выявить синхронные сходные изменения свойств торфа, которые, наиболее вероятно, обусловлены влиянием экзогенных факторов, а специфические изменения, свойственные только одной из торфяных колонок, скорее всего, являются следствием локальных эндогенных процессов [25].

Наша статья посвящена реконструкции истории формирования грядово-мочажинного комплекса в голоцене и обнаружению признаков воздействия климата на его развитие. Исследование двух торфяных колонок на разных элементах грядово-мочажинного болотного комплекса открывает возможность выделить действие экзогенных факторов на развитие болота. При отсутствии антропогенного влияния на исследуемой территории внешнее воздействие на формирование торфяных залежей болота оказывали только вариации климата и гидрологического режима.

Грядово-мочажинные болотные комплексы (ГМК) широко распространены в средней и южной тайге Западно-Сибирской равнины [2]. Вопрос о генезисе ГМК представляет большой интерес для многих исследователей, в результате чего сформировано множество гипотез их возникновения и развития [1, 15, 23], но единого мнения по этому вопросу до сих пор не существует. Вместе с тем имеются данные о климатической чувствительности этих природных образований [17, 12].

Район исследований. Объектом для исследования послужил грядово-мочажинный комплекс, расположенный в северо-восточных отрогах

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-31392/мол_а).

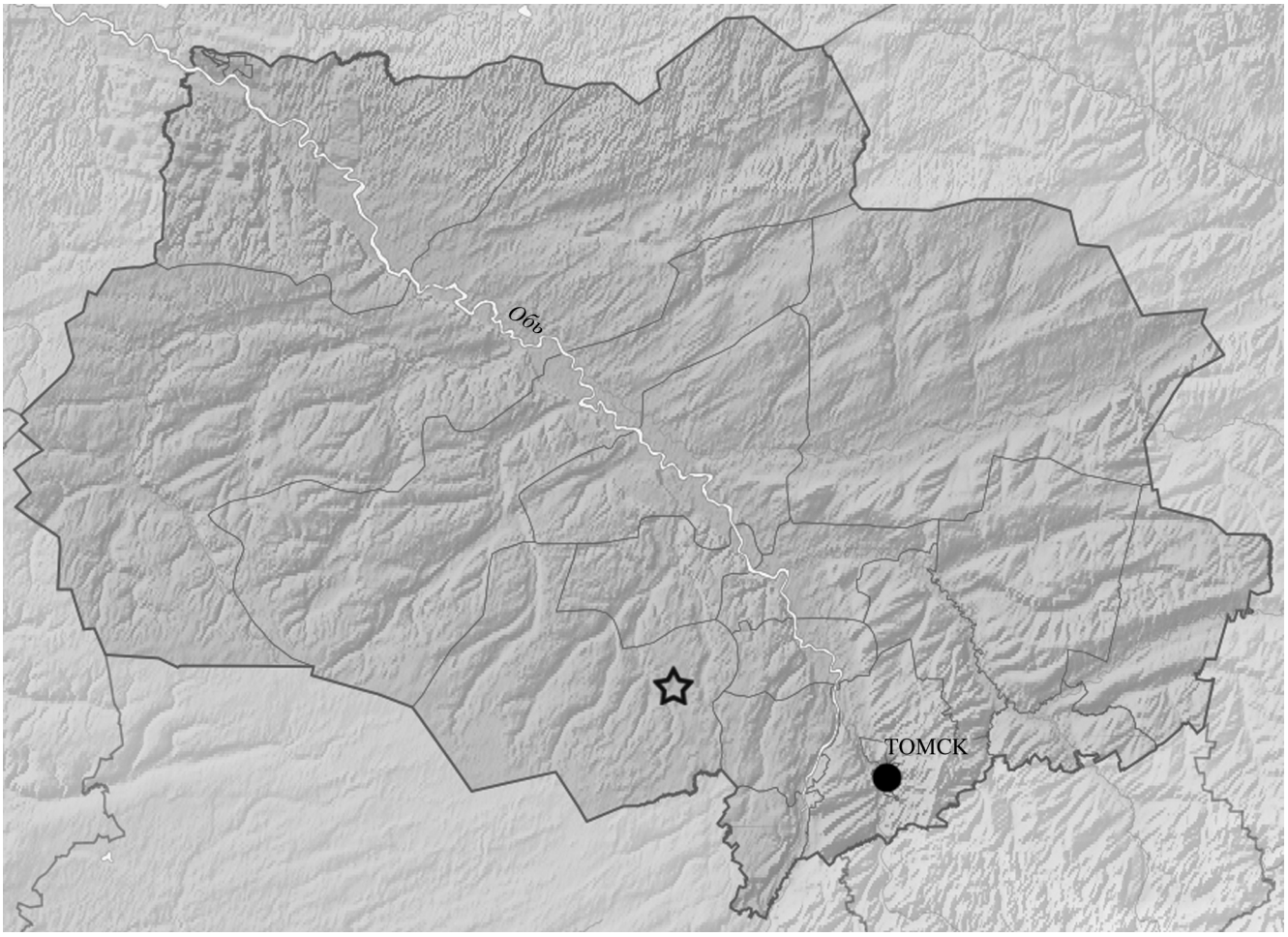

Рис. 1. Карта Томской области. Звездочкой отмечен район исследований.

Васюганского болота в междуречье Иксы и Бакчара (Бакчарский болотный округ [2]), (56°03' и 56°57' с.ш., 82°22' и 82°42' в.д.); степень заболоченности территории до 50% (рис. 1).

Климат территории континентальный циклонический [8]. Среднегодовая температура –0.4 °С, в январе –19.3 °С, в июле +18.1 °С, среднегодовое количество осадков – 465 мм по данным ближайшей станции Бакчар за период наблюдений 1934–2010 гг. [11].

Материал и методы исследований. История развития ГМК восстановлена по двум разрезам, один из которых заложен в месте развития мочажины (далее Мочажина), второй – на гряде (далее Гряда). Мощность торфяной залежи на мочажине в месте бурения составляет 290 см, на гряде – 230 см. Торфяные залежи подстилаются минеральными отложениями. Отбор образцов торфа на анализ производился ручным геологическим буром ТБГ-1 послойно с интервалом 5 см в сентябре 2012 года.

Реконструкция сукцессий растительности ГМК осуществлена на основе ботанического анализа торфа (аналитик Н.А. Чернова), проведенного по стандартной методике [10, 19]. Для определения возраста торфяных залежей выполнено радиоуглеродное датирование 10 слоев торфа (табл. 1) в Институте геологии и геофизики СО РАН Л.А. Орловой и в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН Г.В. Симоновой. Полученные даты откалиброваны в системе BP при помощи открытого программного приложения CALIB REV7.00 (http://calib.qub.ac.uk/calib/). На основании калиброванных дат вычислен возраст всех изученных слоев торфяных разрезов.

Для количественной оценки палеогидрологического режима ГМК в его динамике произведен расчет индекса влажности (IW) [9]. Для определения локальной динамики увлажнения на исследуемом участке применен метод определения степени гумификации торфов [22] с использованием спектрофотометра UV-1601 (PC) Shimadzu при длине волны 540 нм (аналитик А.П. Зотикова).

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного датирования (14С) торфяных слоев в разрезах ГМК

Мочажина			Гряда		
Глубина, см	Дата	Калиброванный возраст BP, л.н.	Глубина, см	Дата	Калиброванный возраст BP, л.н.
280–290	4770±80 (СОАН-7877)	5439	220–230	2477±80 (СОАН-7875)	2591
240–250	2820±70 (СОАН-7876)	3001	120–130	2112±55 (ИМКЭС-83)	2178
200–210	2544±40 (ИМКЭС-214)	2637	70–80	1849±80 (СОАН-7875)	1791
180–190	1740±60 (ИМКЭС-80)	1640	40–50	100±20 (ИМКЭС-205)	240
130–140	889±40 (ИМКЭС-213)	825			
50–60	102±20 (ИМКЭС-211)	240			

Степень гумификации оценена путем экстрагирования образцов торфа 8% раствором щелочи с последующим просвечиванием экстракта на спектрофотометре. Подготовка проб торфа к анализу сообществ раковинных амеб проведена по стандартной методике [18] (шаг 10, размер – 5 см).

Проведено попарное сравнение соседних слоев торфа в обоих разрезах с целью оценки постепенности сукцессионных смен фитоценозов и комплексов раковинных амеб в процессе развития торфяных залежей болота. В ходе анализа мы исходили из того, что при эндогенном развитии смены ботанического состава торфа происходят постепенно, а при влиянии внешних факторов, к каким относятся, прежде всего, климатические изменения, происходят резкие смены ботанического состава [21]. Для удобства оценки постепенности смен использован расчет индексов сходства, широко применяемых в флористических и фаунистических исследованиях для попарного сравнения состава биологических сообществ между собой [16]. Для оценки нами использованы индекс сходства Раупа-Крика и индекс сходства Мориситы. Значения индексов изменяются от 0 (отсутствие сходства) до 1 (полное сходство). Статистическая обработка данных проведена при помощи программных приложений STATISTICA 10, PAST 1.87b.

Результаты и обсуждение. *Сукцессии фитоценозов в торфяных залежах.* Данные ботанического анализа, отражающего растительные сукцессии в развитии болотного комплекса, рассмотрены в пределах периодов Блитта-Сернандера и проинтерпретированы с учетом полученных радиоуглеродных дат (рис. 2).

Разрез Мочажина. Болотообразование на Мочажине началось в атлантическом периоде (5400 л.н. BP), что соответствует оптимуму голоцена, который характеризуется теплым и влажным климатом. В результате ботанического анализа придонных слоев торфа (280–270 см) установлено, что этот участок болота возник на месте сосняка разнотравно-осоково-хвощевого. Заболачивание происходило в понижении мезорельефа дна и носило автохтонный характер. Первичное растительное сообщество в очаге заболачивания было евтрофным топяным, о чем свидетельствуют растительные остатки хвоща (40–60%), вахты (20%), осок, главным образом *Carex lasiocarpa* (10–15%), *C. rostrata* (5%) в торфе. Моховой покров представлен видом *Drepanocladus sp.* (5%). Высокое значение индекса влажности (IW = 6.5–6.8), по нашему мнению, обусловлено накоплением и застаиванием дождевой и талых вод. Большая степень разложения торфа (50%) при переобводненности, мы считаем, является отражением переменного водного режима, что характерно для начала болотообразовательного процесса. Торф накапливался медленно. Так, за период 5400–3000 л.н. BP сформировалась залежь хвощового торфа мощностью всего 30 см.

С глубины 250 см стадия развития болота соответствует суббореальному периоду, датируемому 3000 л.н. BP, который совпадает с похолоданием, самым сухим из всех предшествующих [7]. С этим согласуется снижение индекса влажности (IW = 4.2–5.1) и образование в болотном фитоценозе развитого кустарничкового яруса. На данном этапе торфяную залежь формируют растительные остатки типичных болотных видов, среди которых доминируют осоки (*Carex rostrata* 10–40%, *C. limosa* 5–35%), с участием вахты и шейхцерии (до 20%), остатки древесных растений; присутствие остатков кустарничков составляет от

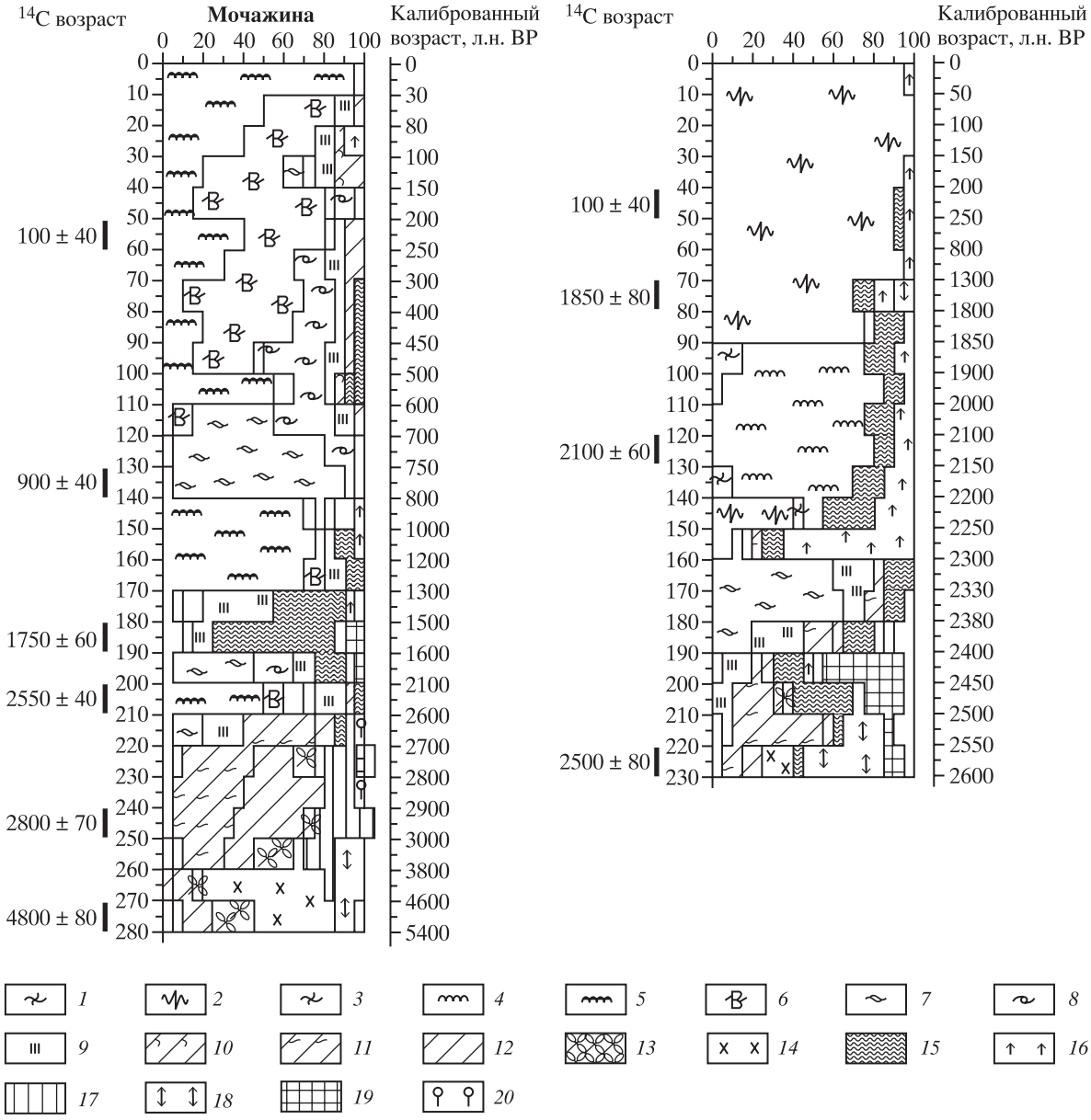

Рис. 2. Ботанический состав торфяных разрезов ГМК:
1 – сфагны; 2 – S. fuscum; 3 – S. angustifolium; 4 – S. magellanicum; 5 – S. papillosum; 6 – S. balticum; 7 – S. majus; 8 – S. jensenii; 9 – Scheuchzeria palustris (шейхцерия); 10 – C. limosa; 11 – C. rostrata; 12 – C. lasiocarpa; 13 – Menyanthes trifoliata (вахта); 14 – Equisetum (хвощ); 15 – Eriophorum vaginatum (пушица); 16 – кустарнички; 17 – древесина; 18 – Pinus sylvestris (сосна); 19 – Betula (береза); 20 – неопределенные травы.

5 до 30%. Таким образом, в Мочажине получили развитие кустарничково-осоковые и кустарничково-разнотравно-осоковые фитоценозы. Стадия просуществовала около 400 лет – 3000–2600 л.н. BP, во время которой образовался осоковый низинный торф мощностью 40–45 см.

Возраст слоя 210 см соответствует 2600 л.н. BP. Это совпадает с началом субатлантического периода (2600 л.н. BP – по настоящее время). Данный период характеризуется влажным и холодным климатом [14], по данным других исследователей [4] – чередой значительных кратковременных колебаний климата, потеплений и похолоданий. Судя по ботаническому составу торфа, в это время в травяном ярусе продолжают доминировать осоки: *C. limosa* (35%), *C. rostrata* (20%). В волокне торфа появляются шейхцерия (до 20%) и пушица (до 5%), а также сфагны (*Sphagnum papillosum*). Более влажный климат привел к повышению обводненности болота и исчезновению древесных растений и кустарничков.

Это период начала формирования мочажины как элемента в составе грядово-мочажинного болотного комплекса. В результате в залежи образовалась маломощная прослойка переходного осокового торфа, соответствующая сфагново-шейхцериево-осоковому фитоценозу. Формирование рядом гряды привело к ухудшению стока болотных вод и дальнейшему повышению обводненности мочажины, вертикальному приросту торфа и постепенной олиготрофизации. На глубине 200 см осоковый переходный торф сменился папиллозум-торфом. В волокне торфа возросло участие остатков сфагновых мхов: *S. papillosum* (50%), *S. balticum* (10%), *S. majus* (10%) и *S. jensenii* (5%). В Мочажине сформировался мезотрофный шейхцериево-сфагновый фитоценоз. Эта стадия развития болота более влажная, чем предыдущая (IW = 6.7).

На глубине 190 см в торфе присутствуют остатки топяных сфагновых мхов, главным образом *S. majus* (40%), *S. jensenii* (20%), *S. papillosum* (5%), из трав преобладает шейхцерия (до 20%), встречается пушица (15%). Увеличение доли остатков *S. majus* указывает на процесс олиготрофизации. Это средневлажная стадия развития болота (IW = 5.4). В результате образовался слой сфагново-мочажинного торфа.

Слой торфа на глубине 180–170 см образован преимущественно остатками пушицы (35–60%), наряду с ней широко представлена шейхцерия (10–35%). Из мхов обнаружены *S. papillosum* (5–10%), *S. majus* (10%), с участием *S. balticum.* Древесный ярус представлен березой (10%). Состав торфа соответствует формированию березово-разнотравного болотного фитоценоза. Появление остатков древесных растений и возрастание доли участия остатков пушицы указывает на снижение уровня обводненности болота (IW = 4.3–5.9).

На глубине 160–140 см волокно торфа образовано на 70–75% *S. papillosum,* остальная часть приходится на остатки трав: шейхцерия (5–10%), пушица (10%). Индекс влажности возрастает до 6.6 и свидетельствует о повышении обводненности. На болоте образовался топяной разнотравно-сфагновый фитоценоз.

Возраст торфа на глубине 130 см составляет 800 л.н. BP. Слой торфа 130–100 см характеризуется максимальными значениями индекса влажности (IW = 8.4–8.9). В этот период Мочажина переходит на олиготрофный этап развития, наблюдается ее активный рост. На глубине 90–0 см гидрологический режим болота изменился в сторону незначительного уменьшения увлажнения (IW = 6.1–7.4). С глубины 130–10 см торфяная залежь представлена полностью мочажинными видами торфов, состоящих из остатков топяных сфагновых мхов (*S. majus, S. jensenii, S. papillosum*), процентный вклад которых менялся, порой значительно (от 5% до 95%), всего наблюдалось 5 существенных смен. Доля травяных остатков (шейхцерия, пушица, *Carex limosa*) в сумме не превышает 5–25%. В целом, данный слой торфа в Мочажине соответствует олиготрофному топяному сфагновому фитоценозу.

Современный моховой покров на Мочажине (0–10 см) на 50% состоит из *S. papillosum,* 30% – *S. balticum.* В травяном ярусе присутствуют шейхцерия (10%) и *C. limosa* (5%).

Таким образом, в ходе формирования торфяной залежи Мочажины произошло 12 смен растительных сообществ, причем эти смены наблюдались достаточно регулярно в течение всего периода ее развития.

Разрез Гряда. Начало болотообразовательного процесса в Гряде датируется 2600 л.н. BP, что соответствует раннесубатлантической фазе (рис. 2). В этот период на территории таежной зоны Западной Сибири произошло увеличение латерального роста и замедление вертикального прироста болотных массивов, уплощение их поверхности и ухудшение стока. В центральных частях началось развитие многочисленных обводненных мочажин, вторичнык озерков, что привело в дальнейшем к формированию грядово-мочажинных и грядово-озерково-мочажинных комплексов [2, 13]. По нашим данным, скорость торфонакопления в этот период в Мочажине уменьшилась и, вероятно, процесс латерального роста болота привел к образованию гряды по краю мочажины. По нашему мнению, рост болота вширь стал возможен за счет полного заполнения торфом понижения мезорельефа дна в месте развития Мочажины и, соответственно, подтопления окружающей гривы и ее заболачивания. Таким образом, произошло зарождение грядово-мочажинного комплекса.

В это время в депрессии рельефа рассматриваемого участка (Мочажина) было сформировано 80 см торфа, торфяная залежь находилась на мезотрофном этапе развития, в травяном ярусе доминировали осоки. Заболачивание на повышении мезорельефа дна (Гряде) шло на месте березово-соснового разнотравного фитоценоза. В придонном слое торфа отмечены остатки сосны (40–60%), березы (10%), хвоща (15%), осок (*C. limosa* 10%), пушицы (до 5%). Таким образом, в основании залежи Гряды в результате заболачи-

вания территории сформировался небольшой по мощности (10 см) низинный сосновый торф высокой степени разложения (65–70%). На глубине 210 см торф становится древесно-осоковым: кора и древесина сосны составляет 20%, березы – 10%. Из травяных остатков в торфе возрастает доля участия осок (*C. rostrata* 45%), присутствуют шейхцерия – 5% и вахта – 5%. На глубине 200–190 см образовался березовый торф, что, скорее всего, вызвано увлажнением болотного участка, индекс IW увеличился до 4.2. В торфе возрастает доля остатков древесины березы до 20–40% и уменьшается доля сосны до 5%. Среди болотных видов растений доминируют пушица (15–30%) и осоки (*C. rostrata* 5–20%). На Гряде формируется березово-осоково-разнотравный фитоценоз.

На глубине 180 см ботанический состав торфа резко меняется; торфяную залежь составляют растительные остатки типичных болотных видов: шейхцерии (25%), пущицы (15%), *C. rostrata* (15%). В торфе появляются остатки сфагнового мха *S. majus* (20%), а остатки древесных растений практически отсутствуют. Возможно, смена березняка осоково-разнотравного разнотравной болотной группировкой произошла вследствие увлажнения водного режима. В результате на Гряде сформировалась типичная мезотрофная осоково-шейхцериевая топь.

На глубине 170–160 см основную массу торфа (60–65%) образует сфагновый мох *S. majus*. Появление и возрастание доли остатков сфагновых мхов свидетельствует об ухудшении проточности на Гряде. Травяной ярус представлен шейхцерией (10–20%), пушицей (10–15%), *C. rostrata* (10–15%), с присутствием *C. limosa* (5%). Эта стадия развития Гряды самая влажная. В результате формируется сильно обводненная шейхцериево-осоково-сфагновая топь.

На глубине 150 см вновь обнаруживаются значительные изменения ботанического состава торфа: его слой на 65% представлен остатками кустарничков. Травянистые остатки присутствуют в небольшом количестве: пушица (10%), шейхцерия и *C. rostrata* по 5%. На Гряде распространяются древесно-кустарничковые растительные группировки. Вероятно, в данный период болотный фитоценоз существовал в засушливых условиях и при хорошем дренаже, которому могло способствовать развитие древостоя.

Слой торфа на глубине 130 см датируется 2200 л.н. BP. В растительном покрове болота преобладали сфагновые мхи (*S. fuscum* – 40%, *S. magellanicum* – 20%, *S. angustifolium* – 5%). Травяной ярус представлен, главным образом, пушицей (25%). Участие остатков кустарничков снизилось до 20%. На Гряде сформировался олиготрофный травяно-сфагновый фитоценоз. Гидрологический режим болота изменился в сторону увеличения увлажнения (значение IW выросло до 3.8). Возможно, из-за повышения уровня вод произошла смена растительных ассоциаций – развитие получили гидроморфные виды.

С глубины 130–90 см в торфе преобладает *S. magellanicum* (60–80%), с небольшой примесью *S. angustifolium* (5–15%), встречаются остатки пушицы (10–15%), кустарничков (5–15%). Это соответствует формированию олиготрофного пушицево-сфагнового фитоценоза.

Слой 80–0 см представлен *S. fuscum* (70–100%) иногда с примесью пушицы (до 15%). Доля участия остатков кустарничков в торфе достигает 5–10%. Смена доминирующего вида мха *S. magellanicum* более ксерофильным видом *S. fuscum* указывает на снижение уровня увлажнения. Современный покров на Гряде представлен сосново-кустарничково-сфагновым фитоценозом. Следует заметить, что в случае существования развитого древесного яруса на болоте волокна древесины не всегда обнаруживаются в торфе. В разрезе Гряда на глубине 70 см доля остатков древесины сосны и кустарничков составляет по 10%, выше остатки древесины в торфе не зафиксированы. Отсутствие значительных изменений в ботаническом составе и общетехнических свойствах торфа в разрезе Гряда в слое 80–0 см позволяет предположить, что современный сосново-кустарничково-сфагновый фитоценоз сформировался примерно 1800 лет назад.

Таким образом, на первом этапе образования торфяника Гряды за достаточно короткий интервал времени (2600–2200 л.н. BP) болотная растительность прошла 5 этапов смен. Остальная часть залежи сформировалась во время второго, продолжительного этапа развития (2200 л.н. BP по н.в.). Однако за это время произошла всего 1 смена болотной растительности.

В целом, процесс развития Мочажины и Гряды имеет черты сходства. Так, торфяные залежи обоих элементов ГМК сформировались в соответствии с олиготрофным типом суходольного заболачивания [6]. На первых этапах их развития наблюдается ряд резких смен растительных сообществ, что характерно для болотообразовательного процесса. Эти сукцессии болотных фитоценозов обусловлены влиянием эндогенных факторов.

Различия в развитии Мочажины и Гряды проявляются при их выходе в олиготрофную стадию.

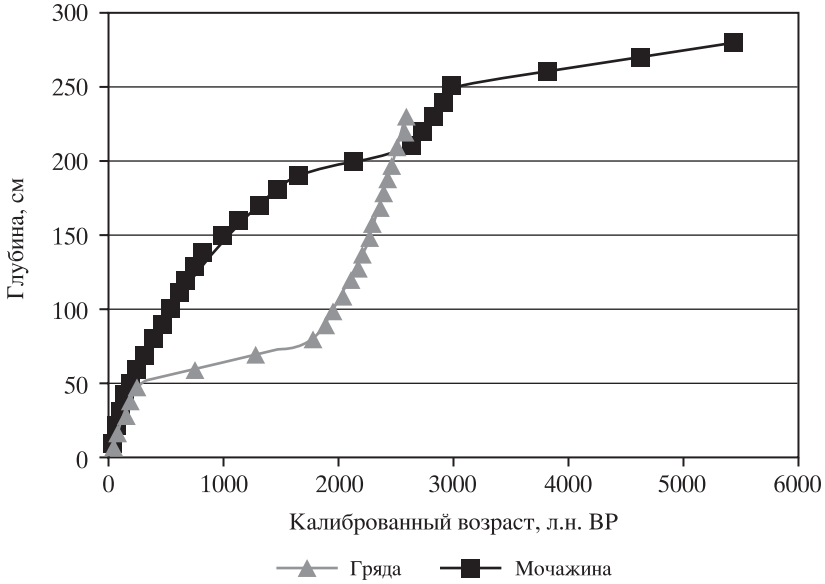

Рис. 3. Динамика торфонакопления в торфяных залежах ГМК.

В разрезе Мочажина по-прежнему наблюдаются периодические смены фитоценозов, а в разрезе Гряда происходит только одна существенная смена. Мы считаем, что в данном случае наличие смен в Мочажине указывает на ее высокую чувствительность к изменениям именно внешних факторов среды, не связанных с эндогенным развитием болота. В то время как Гряда оказалась устойчивой к их воздействию.

Обнаружение воздействия климатических изменений на начальных этапах болотообразования зачастую экранируется эндогенными процессами. Следы влияния климата становятся более явными именно на олиготрофной стадии развития болота.

Особенности торфонакопления в залежах ГМК. Исследованные элементы ГМК гряда и мочажина имеют разный возраст и мощность торфяной залежи в месте отбора разрезов. Мочажина образовалась раньше, чем Гряда, и, соответственно, имеет большую мощность залежи (рис. 3).

Согласно модели, скорость торфонакопления в торфяных залежах ГМК в одни и те же периоды была различной. На начальном этапе развития торфяной залежи на Гряде она была максимальной (2.42 мм/год) (рис. 3), в то время как на Мочажине существенно более низкая (0.20 мм/год). Напротив, к моменту, когда на Гряде она снизилась до 0.19 мм/год, на Мочажине начала возрастать и составила 0.60 мм/год.

Различия в скорости торфонакопления, по нашему мнению, вряд ли обусловлены влиянием климата. Так как в этом случае воздействие климатического фактора должно было одновременно отражаться и на Гряде, и на Мочажине. Хотя оба элемента болотного комплекса могли реагировать на действие этого фактора по-разному, но тогда при этом отличалась бы только сила реакции, а сама реакция должна была существовать в обоих разрезах и быть однонаправленной.

Вычислена мощность торфяной залежи на обоих элементах ГМК в отдельные периоды их формирования по нескольким полученным углеродным датировкам, имеющим близкие значения на Гряде и в Мочажине (рис. 4). Вычисления были сделаны исходя из положения, что Мочажина образовалась раньше Гряды в понижении рельефа, и гряда появилась под влиянием мочажины только после того, как это понижение было заполнено торфом. Реконструкция высоты Гряды и Мочажины относительно друг друга в ходе их развития показала, что на всех этапах Гряда была выше, чем Мочажина. Это значит, что избыток влаги на гряде неизменно сбрасывался в Мочажину. Таким образом, Гряда была источником дополнительных объемов воды для Мочажины и одновременно барьером для утекания воды из последней.

Следующие особенности исследованного нами ГМК: 1) формирование различных фитоценозов в Мочажине и Гряде на всех этапах их развития; 2) присутствие перепада высоты рельефа минерального дна, – свидетельствуют о том, что грядовый рельеф на минеральном грунте являлся основной из причин, по которой образовался данный ГМК. Таким образом, результаты нашего исследования подтверждают гипотезу образования ГМК под влиянием рельефа подстилающего

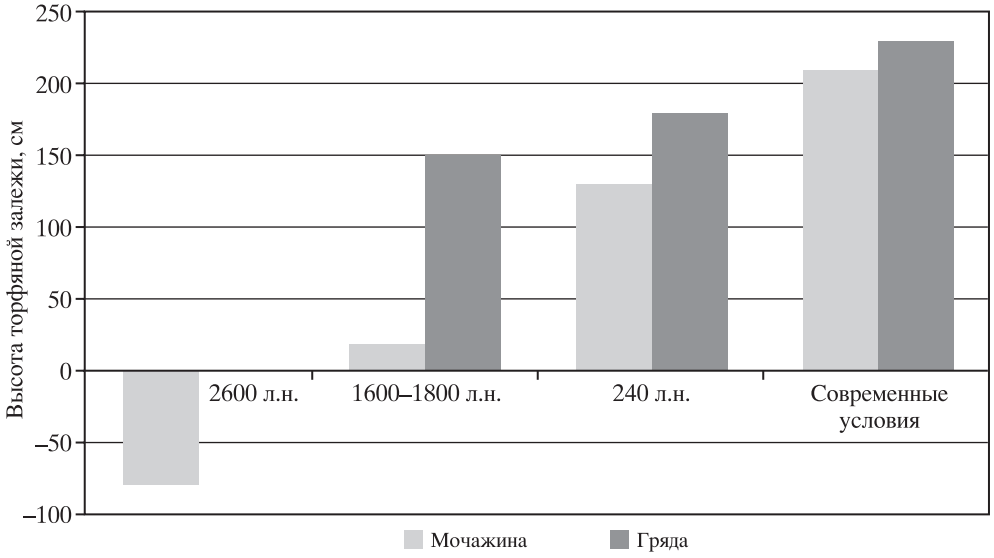

Рис. 4. Высота торфяных залежей Мочажины и Гряды относительно друг друга в отдельные периоды их формирования в голоцене.

минерального дна болота, выдвинутую В.К. Бахновым [1], согласно которой гряды формируются над повышениями рельефа дна, а мочажины – над понижениями.

Оценка постепенности сукцессионных смен сообществ растений и раковинных амеб при помощи индексов сходства. Расчет индексов сходства по комплексам растительных остатков в торфе позволил выявить, что в обоих разрезах значения индекса Мориситы варьировали сильнее, чем индекса Раупа-Крика (рис. 5). Это указывает на то, что резкие смены ботанического состава чаще наблюдались за счет изменений относительного обилия отдельных видов растений, реже – за счет появления либо исчезновения отдельных видов в сообществе. Наиболее сильные снижения индекса Раупа-Крика наблюдаются на первых этапах формирования торфяных залежей в обоих разрезах. По-видимому, это отражение более значительных смен видовой структуры фитоценозов, что связано не только с изменением водного режима болота, но и режима питания болотных растений. На олиготрофном этапе развития меняется в основном индекс Мориситы, так как видовой состав растений становится более однородным и их реакция на изменения условий среды заключается преимущественно в смене долей относительных обилий отдельных видов.

Резкие смены структуры сообществ, отмеченные в верхних слоях разрезов за последние 100 лет, нами не рассматривались, так как это еще не окончательно сформировавшийся торф.

Снижения значений индексов сходства наблюдались в Мочажине в периоды: 4600, 2600, 2100, 1600, 900, 600, 400 л.н., на Гряде – 2400, 2100, 1900 л.н. Наиболее вероятно, в эти периоды происходило воздействие климатических изменений на развитие болотного комплекса. Резкие смены ботанического состава в некоторые из перечисленных временных периодов (2600, 2400, 2100, 1900, 1600, 600 л.н.) совпадают с похолоданием климата, приведенным в литературе для района исследования [5]. Смена ботанического состава, отмеченная в Мочажине 4600 л.н., произошла на границе атлантического и суббореального периодов голоцена и, очевидно, является следствием климатических изменений в это время.

Обнаружены наиболее значительные снижения значений индексов сходства для обоих разрезов на первых этапах формирования гряды и зарождения ГМК на болоте (2600–1800 л.н. BP). По-видимому, именно в этот период происходило особенно сильное воздействие внешних факторов на развитие болотного массива. Среди них, наиболее вероятно, влияние оказывало изменение гидрологического стока с болота в связи с формированием гряды, а также климатические вариации.

В исследованных торфяных разрезах выявлено 66 видов, форм и внутривидовых вариететов раковинных амеб. Характеристика комплексов раковинных амеб в данных разрезах опубликована ранее [3]. Для сообществ раковинных амеб, как и для ботанического состава торфа, проведена оценка постепенности смен видового состава с глубиной залежи обоих разрезов (рис. 5).

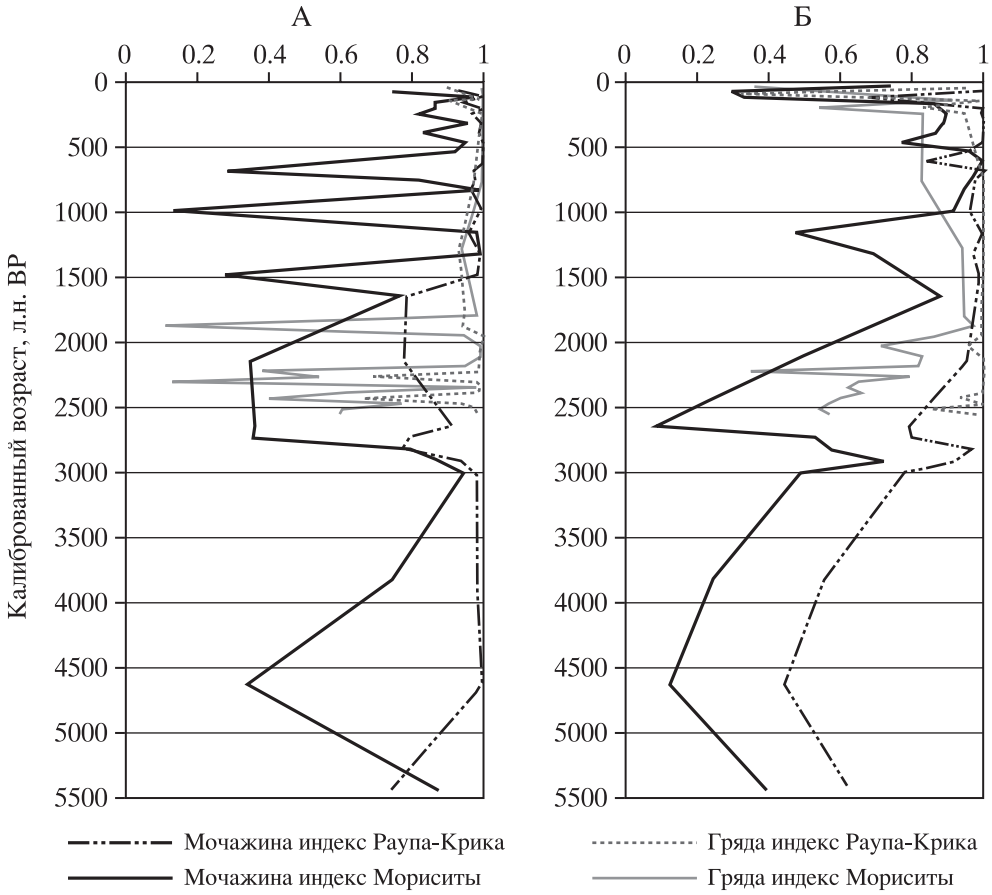

Рис. 5. Динамика значений индексов сходства: А – данные по фитоценозам; Б – данные по сообществам раковинных амеб.

Резкие смены структуры сообществ амеб произошли в Мочажине 4500, 2700, 2600–2100, 1100, 400 л.н.; на Гряде 2600, 2500, 2100 л.н.

Таким образом, на основании изучения обоих разрезов выделяется период с 2600 по 2000 л.н., характеризующийся несколькими резкими сменами структуры как сообществ раковинных амеб, так и фитоценозов. Кроме этого, выявлены периоды 4500, 1600, 1100–900, 400 л.н., в которые и для растений, и для раковинных амеб в той или иной степени выражено снижение индекса Мориситы. Следует отметить, что в период 600 л.н. снижение индекса Мориситы проявилось только у растений, а у амеб не проявилось. Это, возможно, обусловлено различными физиологическими свойствами и чувствительностью разных биологических индикаторов к внешним воздействиям. Таким образом, исходя из приведенного анализа индексов сходства, вероятность воздействия климатических изменений на развитие болота в перечисленные временные отрезки очень высока.

Анализ степени гумификации торфа. Значение индекса гумификации (Ih), полученное колориметрическим методом, во многом зависит от ботанического состава торфа. Эта зависимость отмечалась ранее [27, 28]. Так, характерна тенденция уменьшения индекса гумификации в процессе эндогенного развития болота и постепенного перехода от низинных видов торфа к переходным и затем верховым. При этом отдельные положительные и отрицательные пики Ih, обнаруженные нами в торфяных колонках, связаны с влиянием экзогенных факторов (климатических изменений) (рис. 6).

Для нивелирования влияния ботанического состава торфа на динамику показателя степени гумификации нами было определено среднее значение Ih для каждого выявленного вида торфа (табл. 2). Наименьшие значения индекса гумификации имеют сфагновые виды торфа, а максимальные – древесные, при этом травяные – занимают промежуточную позицию. Полученные значения Ih согласуются с результатами другого исследования [26] и могут быть использованы в качестве коэффициентов для нивелирования влияния ботанического состава торфа на динамику показателя степени гумификации.

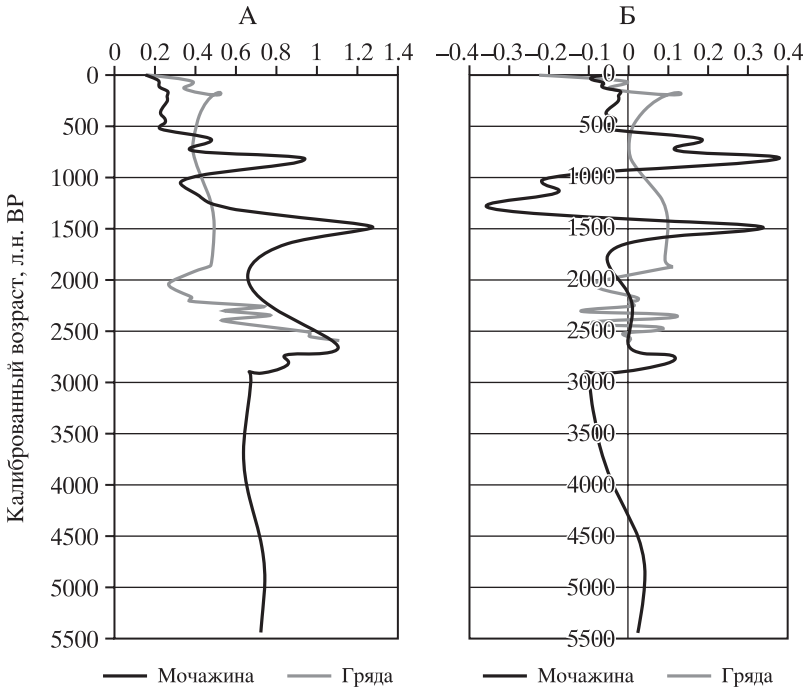

Рис. 6. Динамика индекса гумификации Ih в залежах ГМК: А – исходные значения индекса; Б – преобразованные значения индекса.

Таблица 2. Степень гумификации торфа в разрезах ГМК в зависимости от ботанического состава торфа

Вид торфа	Значение Ih	Группа	Среднее значение Ih
Папиллозум верховой	0.1	Сфагновые торфа	0.5
Сфагново-мочажинный верховой	0.3		
Магелланикум верховой	0.4		
Фускум верховой	0.4		
Комплексный верховой	0.4		
Папиллозум переходный	0.6		
Папиллозум переходный	0.7		
Сфагново-мочажинный верховой	0.9		
Шейхцериевый переходный	0.5	Травяные	0.8
Хвощевый низинный	0.7		
Осоковый низинный	0.8		
Пущицевый верховой	0.9		
Осоковый переходный	1.1		
Кустарничковый переходный	0.7	Древесные	0.9
Березовый низинный	0.7		
Сосновый низинный	1.0		
Древесно-осоковый низинный	1.0		
Минеральное дно	0.7	Минеральное дно	0.9
Минеральное дно	1.1		

Для выделения влияния экзогенных факторов на изменения водного режима болота из полученных значений индекса гумификации были вычтены рассчитанные нами средние значения Ih для каждого вида торфа. Таким образом, в динамике индекса гумификации было исключено влияние ботанического состава торфа и остались только вариации, обусловленные изменениями водного режима болота под влиянием экзогенных факторов среды. В целом, после проведенных преобразований величины и тренд индекса гумификации изменились: некоторые пики потеряли свою

значимость, другие, наоборот, – стали заметнее. Пропал тренд увеличения степени гумификации с глубиной залежей.

Изменения показателя Ih в Мочажине позволили выделить два периода повышенной гумификации 1600–1400, 800 л.н. BP, которые отражают обсыхание на болоте. В период 1300–900 л.н. BP – наоборот, значение Ih понижено, что указывает на увеличение уровня обводненности. На Гряде наиболее широкая амплитуда изменения Ih отмечена в начале ее формирования (2400–1800 л.н. BP), что является следствием переменного режима увлажнения, отражающего относительно короткие периоды обводнения и обсыхания Гряды. Причиной такого переменного режима могли стать как эндогенные факторы болотообразовательного процесса (например, отсутствие достаточно мощной торфяной толщи, удерживающей влагу и сглаживающей межгодовые и сезонные колебания уровня обводненности среды), так и влияние вариаций климата. С переходом Гряды в олиготрофную стадию развития колебания Ih стали незначительны. Подобные колебания индекса гумификации в Мочажине не проявились, так как оказались экранированными изменениями ботанического состава торфа и при проведенных нами преобразованиях показателя Ih были потеряны.

Корреляция значений индекса гумификации для двух исследованных разрезов, синхронизированных по возрасту залежей, оказалась слабой и достоверно незначимой ($r = -0.13$ при $p > 0.05$). По нашему мнению, это связано с различным откликом на изменения водного режима Мочажины и Гряды. Изменения степени гумификации проявлялись преимущественно в разрезе Мочажина, а в Гряде – выявлены только на начальной стадии ее формирования.

Заключение. При помощи комплекса разных палеоэкологических методов выявлено воздействие на развитие болота как эндогенных, так и экзогенных факторов. Основные периоды воздействия экзогенных факторов зафиксированы 4600, 2700–2100, 1900, 1600, 1100, 900, 600, 400 л.н., когда наблюдались существенные перестройки как видового состава растительных болотных фитоценозов и комплексов раковинных амеб, так и их экологической структуры. В периоды 1600–1400 и 800 л.н. обнаружены отклонения показателя степени гумификации торфа в сторону ее повышения, а 1300–900 л.н. – в сторону уменьшения, наиболее вероятно, под влиянием изменений климата.

При сопряженном исследовании двух торфяных разрезов оказалось трудно выявить в них однонаправленные изменения, которые с большой вероятностью являлись бы следствием климатических изменений в голоцене. Сложности связаны с большими различиями в свойствах торфов обоих разрезов и истории развития каждого из них, несмотря на то, что они являются составными частями одного ГМК.

Наиболее яркие и четкие сигналы на внешние воздействия проявлялись в обоих разрезах именно в периоды высокой скорости торфонакопления, а в периоды низкой – становились слабыми и терялись. Это особенно заметно в скорости торфонакопления, всплески которой на Гряде и Мочажине наблюдались попеременно.

Разные элементы ГМК обладают различной чувствительностью к внешним воздействиям. Во время эвтрофной и мезотрофной стадий развития более чувствительной к изменениям среды была Гряда. В олиготрофной стадии развития более восприимчивой к экзогенному влиянию оказалась Мочажина.

Предложен новый способ количественной оценки постепенности сукцессионных смен сообществ живых организмов, составляющих торфяные отложения болот. Для этого использованы индексы сходства при попарном сравнении соседних слоев торфа. Данный метод позволяет быстро обнаружить периоды наибольшего воздействия экзогенных факторов на формирование торфяных залежей.

Получены средние значения индекса гумификации для определенных видов торфов. Данные значения могут быть применены в качестве коэффициентов для нивелирования влияния ботанического состава торфа на динамику гумификации торфа в торфяных залежах болот. Предложен способ преобразования значения Ih в соответствии с данными коэффициентами для оптимизации реконструкции водного режима болота и обнаружения следов воздействия климата.

В целом, совместный анализ свойств обоих разрезов позволил наиболее полно восстановить динамику условий среды в голоцене, нежели если бы мы исследовали только один из них.

Авторы выражают свою благодарность сотрудникам ИМКЭС СО РАН д.б.н. Бляхарчук Т.А. за ценные замечания при подготовке рукописи; д.б.н. Головацкой Е.А., к.ф.-м.н. Дюкареву Е.А., к.ф.-м.н. Смирнову С.В. – за помощь в проведении полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахнов В.К.* Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 193 с.
2. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Под ред. Лисса О.Л., Абрамовой Л.И., Аветова Н.А. и др. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
3. *Веретенникова Е.Э., Курьина И.В.* Эволюция грядово-мочажинного комплекса южнотаежной подзоны Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2014. № 2. С. 91–99.
4. *Волкова В.С., Бахарева В.А., Левина Т.П.* Растительность и климат голоцена Западной Сибири // Палеоклиматы позднеледниковья и голоцена. М.: Наука, 1989. С. 90–95.
5. *Волкова В.С., Левина Т.П.* Растительность голоцена Западной Сибири по палинологическим данным // Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1985. С. 186–192.
6. *Галкина Е.А.* Болотные ландшафты Карелии и принципы их классификации. Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1959. Вып. XV. С. 3–48.
7. *Глебов Ф.З., Карпенко Л.В., Климанов В.А., Миндеева Т.Н.* Палеоэкологический анализ торфяного разреза “Назино” (среднетаежная подзона Западной Сибири) // Сиб. экологич. журнал. 2001. № 6. С. 683–688.
8. *Евсеева Н.С.* География Томской области. Природные условия и ресурсы. Томск: Изд-во ТГУ, 2001. 222 с.
9. *Елина Г.А., Юрковская Т.К.* Методы определения палеогидрологического режима как основа объективизации причин сукцессий растительности болот // Бот. журн. 1992. Т. 77. № 7. С. 120–124.
10. *Кац Н.Я.*, *Кац С.В., Скобеева Н.И.* Атлас растительных остатков в торфах. М.: 1977. 371 с.
11. Климат России (научно-прикладной справочник) [Электронный ресурс] URT: http://aisori.meteo.ru/ClspR (Дата обращения 10.09.2014).
12. *Кузнецов О.Л.* Динамика растительности верховых болот // Изв. Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1–5. С. 1288–1291.
13. *Лапшина Е.Д., Мульдияров Е.Я.* Основные этапы развития Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. С. 36–44.
14. *Лисс О.Л.* Пространственно-временные закономерности развития болот в голоцене (на примере Западной Сибири) // Мат-лы второй научн. школы “Болота и биосфера” 8–12 сентября 2003 г. Томск, 2003. С. 10–24.
15. *Ниценко А.А.* О происхождении грядово-мочажинного рельефа на болотах // Вестн. ЛГУ. 1964. № 21. Сер. Биолог. Вып. 4. С. 75–87.
16. *Песенко Ю.А.* Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 288 с.
17. *Прейс Ю.И., Карпенко Л.В.* Особенности стратиграфии, динамики и генезиса олиготрофных грядово-мочажинных комплексов среднетаежной подзоны Западной Сибири // Изв. ТПУ. 2005. Т. 308. № 1. С. 48–53.
18. *Рахлеева А.А., Корганова Г.А.* К вопросу об оценке численности и видового разнообразия раковинных амеб (Rhizopoda, Testacea) в таежных почвах // Зоологич. журнал. 2005. Т. 84. № 12. С. 1427–1436.
19. *Тюремнов С.Н., Ларгин И.Ф., Ефимова С.Ф., Скобеева Е.И.* Торфяные месторождения и их разведка. М.: Недра, 1977. 264 с.
20. *Aaby B.* Cyclic climatic variations in climate over the past 5500 years reflected in raised bogs // Nature. 1976. V. 63. P. 281–284.
21. *Blyakharchuk T.A., Chernova N.A.* Vegetation and climate in the Western Sayan Mts according to pollen data from Lugovoe mire as a background for prehistoric cultural change in southern Middle Siberia // Quat. Sci. Rev. 2013. V. 75. P. 22–42.
22. *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.
23. *Foster D.R., King G.A., Glaser P.H., Wrught Jr. H.E.* Origin of string patterns in boreal peatlands // Nature. 1983. V. 306. P. 256–258.
24. *Lavoie M.*, *Pellerin S., Larocque M.* Examining the role of allogenous and autogenous factors in the long-term dynamics of a temperate headwater peatland (southern Quebec, Canada) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2013, № 386. P. 336–348.
25. *Loisel J., Garneau M.* Late Holocene paleoecohydrology and carbon accumulation estimates from two boreal peat bogs in eastern Canada: Potential and limits of multy-proxy archives // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010. № 291. P. 493–533.
26. *Overbeck F.* Studien zur Hochmoorentwicklung in Niedersachsen und die Bestimmung der Humifizierung by stratigraphisch-pollenanalytischen Mooruntersuchungen // Planta. 1947. V. 35. S. 1–56.
27. *Payne R.J., Blackford J.J.* Peat humification and climate change: a multi-site comparison from mires in south-east Alaska // Mires and Peat, 2008. V. 3. P. 1–11.
28. *Yeloff D., Mauquoy D.* The influence of vegetation composition on peat humification: implications for palaeoclimatic studies // Boreas. 2006. V. 35. P. 662–613.

REFERENCES

1. Bakhnov V.K. *Biogeokhimicheskie aspekty bolotoobrazovatel'nogo protsessa* (Biogeochemical Aspects of Formation of Bogs). Novosibirsk: Nauka Publ., 1986. 193 p.
2. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A. et al. *Bolotnye sistemy Zapadnoi Sibiri i ikh prirodnoe znachenie* (Bog Systems of Western Siberia and Their Role in Nature). Tula: Grif i K, 2001. 584 p.
3. Veretennikova E.E. and Kur'ina I.V. Evolution of the string-bog complex in the southern taiga subzone of Western Siberia. *Geogr. Prirod. Resur*., 2014, no. 2, pp. 91–99. (In Russ.).
4. Volkova V.S., Bakhareva V.A., and Levina T.P. Vegetation and climate of Holocene in Western Siberia, in *Paleoklimaty pozdnelednikov'ya i golotsena* (Paleoclimates of Post-Glacial Period and Holocene). Moscow: Nauka Publ., 1989, pp. 90–95. (In Russ.).
5. Volkova V.S. and Levina T.P. Vegetation of Holocene in Western Siberia determined using palynological data, in *Razvitie prirody territorii SSSR v pozdnem pleistotsene i golotsene* (Development of Nature on the Territory of Soviet Union in Late Pleistocene and Holocene). Moscow: Nauka Publ., 1985, pp. 186–192. (In Russ.).
6. Glakina E.A. *Bolotnye landshafty Karelii i printsipy ikh klassifikatsii* (Bog Landscapes of Karelia and Their Classification). Petrozavodsk: Gos. Izd. Karel. ASSR, 1959, no. 15, pp. 3–48.
7. Glebov F.Z., Karpenko L.V., Klimanov V.A., and Mindeeva T.N. Paleoecological analysis of the Nazino peatland field (mid-taiga subzone of Western Siberia). *Sib. Ekol. Zh*., 2001, no. 6, pp. 683–688. (In Russ.).
8. Evseeva N.S. *Geografiya Tomskoi oblasti. Prirodnye usloviya i resursy* (Geography of Tomsk Oblast: Environmental Conditions and Resources). Tomsk: Tomsk. Gos. Univ., 2001. 222 p.
9. Elina G.A. and Yurkovskaya T.K. Analysis methods of paleohydrological regime as a basis for explanation of the reasons of vegetation succession of the bogs. *Bot. Zh*., 1992, vol. 77, no. 7, pp. 120–124. (In Russ.).
10. Kats N.Ya., Kats S.V., and Skobeeva N.I. *Atlas rastitel'nykh ostatkov v torfakh* (Atlas of the Plant Remains in Turfs). Moscow, 1977. 371 p.
11. Climate of Russia: scientific-applied handbook. http://aisori.meteo.ru/ClspR. Cited September 10, 2014.
12. Kuznetsov O.L. Dynamics of vegetation of the raised bogs. *Izv. Samar. Nauch. Tsentra, Ross. Akad. Nauk*, 2012, vol. 14, nos. 1–5, pp. 1288–1291. (In Russ.).
13. Lapshina E.D. and Mul'diyarov E.Ya. General steps of development of Great Vasyugan mire, in *Bol'shoe Vasyuganskoe boloto. Sovremennoe sostoyanie i protsessy razvitiya* (Modern Status and Development of the Great Vasyugan Mire). Tomsk: Inst. Opt. Atmos., Sib. Otd., Ross. Akad. Nauk, 2002, pp. 36–44. (In Russ.).
14. Liss O.L. Spatio-temporal patterns of bog development in Holocene in Western Siberia, in *Mater. Vtoroi nauch. shkoly "Bolota i biosfera," Tomsk, 8–12 sentyabrya 2003 g.* (Proc. Second Sci. School "Bogs and Biosphere," Tomsk, September 8–12, 2003). Tomsk, 2003, pp. 10–24. (In Russ.).
15. Netsenko A.A. Origin of string-bog relief of bogs. *Vestn. Leningr. Gos. Univ., Ser. Biol*., 1964, no. 4, no. 21, pp. 75–87. (In Russ.).
16. Pesenko Yu.A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* (Principles and Methods of Quantitative Analysis Used in Faunistic Studies). Moscow: Nauka Publ., 1982. 288 p.
17. Preis Yu.I. and Karpenko L.V. Features of stratigraphy, dynamics, and genesis of oligotrophic string-bog systems in mid-taiga subzone of Western Siberia. *Izv. Tomsk. Politekh. Univ*., 2005, vol. 308, no. 1, pp. 48–53. (In Russ.).
18. Rakhleeva A.A. and korganova G.A. Assessment of number and species diversity of Rhizopoda (Testacea) in taiga soils. *Zool. Zh*., 2005, vol. 84, no. 12, pp. 1427–1436. (In Russ.).
19. Tyuremnov S.N., Largin I.F., Efimova S.F. and Skobeeva E.I. *Torfyanye mestorozhdeniya i ikh razvedka* (Peatland Fields and Their Exploration). Moscow: Nedra Publ., 1977. 264 p.
20. Aaby B. Cyclic climatic variations in climate over the past 5500 years reflected in raised bogs. *Nature*, 1976, vol. 63, pp. 281–284.
21. Blyakharchuk T.A. and Chernova N.A. Vegetation and climate in the Western Sayan Mountains according to pollen data from Lugovoe mire as a background for prehistoric cultural change in southern Middle Siberia. *Quat. Sci. Rev*., 2013, vol. 75, pp. 22–42.
22. 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 Peat*, 2011, vol. 7, pp. 1–10.
23. Foster D.R., King G.A., Glaser P.H., and Wrught Jr. H.E. Origin of string patterns in boreal peatlands. *Nature*, 1983, vol. 306, pp. 256–258.
24. Lavoie M., Pellerin S., and Larocque M. Examining the role of allogenous and autogenous factors in the long-term dynamics of a temperate headwater peatland (southern Quebec, Canada). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol*., 2013, no. 386, pp. 336–348.
25. 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.
26. Overbeck F. Studien zur Hochmoorentwicklung in Niedersachsen und die Bestimmung der Humifizierung by stratigraphisch-pollenanalytischen Mooruntersuchungen. *Planta*, 1947, vol. 35, pp. 1–56.
27. Payne R.J. and Blackford J.J. Peat humification and climate change: a multi-site comparison from mires in south-east Alaska. *Mires Peat*, 2008, vol. 3, pp. 1–11.
28. Yeloff D. and Mauquoy D. The influence of vegetation composition on peat humification: implications for paleoclimatic studies. *Boreas*, 2006, vol. 35, pp. 662–673.

Impact of Climate Change of the Holocene on the Development of the Ridge-Hollow Swamp Complex of Western Siberia

I.V. Kur'ina and E.E. Veretennikova

Institute of monitoring of climatic and ecological systems, Siberian branch, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia; klimirin@sibmail.com; lena2701@yandex.ru

The results of a comprehensive paleoecological study of ridge-hollow bog complex in the southern taiga of Western Siberia on the case of two sections of hollow and ridge are shown. Special attention is paid to the climatic impact on the formation of peat deposits in the Holocene which was manifested in the fact that the ridges were sensitive to the impact in eutrophic and mesotrophic stages, and the hollows were sensitive in oligotrophic stage.

Keywords: climatic impact, bogs, ridge, mochezhina, taiga of Western Siberia, turf, Holocene.