

## ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И ПАРАМЕТРОВ ТОРФА В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ ОЗЕРНО-БОЛОТНОЙ СИСТЕМЫ «КОШЕЕР» (РЕСПУБЛИКА МАРИЙ ЭЛ)

Ю. П. Демаков<sup>1,2</sup>, А. В. Исаев<sup>1</sup>, Г. А. Богданов<sup>1</sup>,  
Д. В. Тишин<sup>3</sup>, С. В. Жилич<sup>4</sup>, А. В. Долгих<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»  
Российская Федерация, 424038, г. Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26

<sup>2</sup>Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) Федеральный университет  
Российская Федерация, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

<sup>4</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН,

Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, ул. Академика Лаврентьева, 17

<sup>5</sup>Институт географии РАН, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4

E-mail: YPDemakov@yandex.ru

*Описан характер изменения флористического состава торфа и его физико-химических показателей в процессе эволюции озерно-болотной системы «Кошеер» (заповедник «Большая Кокшага», Республика Марий Эл), начавшейся в раннем голоцене около 10,4 тыс. лет назад. Показано, что доля участия в химическом составе торфа фосфора, хлора, магния, меди, кальция и стронция закономерно со временем увеличивалась, а серы, алюминия, кремния, железа, калия и цинка, наоборот, снижалась. Положительные аномалии относительного содержания в торфе элементов алюмосиликатной группы отмечались в периоды наибольшего прироста его массы, высокой зольности и пониженной кислотности, а элементов кальциево-железо-магниевого группы, наоборот, в периоды наименьшего прироста, низкой зольности и повышенной кислотности. Условия для процесса накопления торфа были наиболее благоприятными 6-7 и 1,5 тыс. лет назад, а самые плохие – в начальный период образования болота, а также 2,5 тыс. лет назад. Очень низка скорость образования торфа и в настоящее время. Сделан вывод о том, что наиболее информативными показателями скорости течения болотообразовательного процесса и воздействия на него факторов внешней среды, в том числе климата, являются величина годового прироста торфа, его зольность, значение величины рН солевой вытяжки и относительного содержания в нем различных химических элементов, особенно алюминия, титана, цинка, стронция, магния, фосфора и хлора.*

**Ключевые слова:** озерно-болотные системы; торф; состав; свойства; вертикальная стратификация; радиоуглеродная датировка; динамика; математические модели.

**Введение.** Вопрос об эволюции биосферы и развитии ландшафтов является одним из интереснейших и важнейших в современной геоэкологии. В настоящее время он приобрел также большое практическое значение в связи экологической проблемой глобального изменения климата, влияющего на многие аспекты жизни человека и развития цивилизации. Знание отклика экосистем на изменение климата в прошлом, особенно в голоцене, необходимо для более глубокого понимания процессов, происходящих в настоящее время, и оценки воздействия на них антропогенных факторов, а также построения прогнозных моделей на ближайшее будущее. Важными источниками информации об изменениях климата в прошлом являются озерно-болотные системы и торфяники, занимающие в Республике Марий Эл более 100 тыс. га [1, 2]. Результаты их ком-

плексного изучения позволяют реконструировать изменения условий природной среды и биоты на локальном, региональном и глобальном уровнях [3–11].

В голоцене на Западно-Сибирской равнине выделяются четыре периода торфонакопления [12]: слабого проявления болотообразовательного процесса (от 12 до 11 тыс. лет назад), начала активного его развития (от 11 до 2 тыс. лет назад), усиления (от 2 до 0,5 тыс. лет назад) и дальнейшего прогрессирования (от 500 лет назад до настоящего времени). Максимальные значения прироста торфяных отложений установлены для бореального периода голоцена. В атлантическом периоде наблюдается некоторое уменьшение прироста торфа, более заметное в северной тайге и менее выраженное в средней. Минимальный прирост торфяных отложений отмечен для суббореального периода, когда климат был относительно сухим и холодным. В субатлантическом периоде средняя скорость торфонакопления снова несколько возрастает. В современный период заболачивание суши происходит главным образом вследствие расширения в стороны растущих сфагновых болот. Болота из подчиненного элемента ландшафта превращаются в главный [13–15], а первоначальные центры заболачивания постепенно сливаются в обширные болотные системы. Так, к примеру, на территории Западно-Сибирской равнины, 19 самостоятельных болот превратились за последние 500 лет в один огромный Васюганский болотный массив, занимающий площадь более 500 тыс. га [12].

Механизм развития болот, по мнению ряда исследователей [4, 16], биоценотический, в основе которого лежат изменения состава фитоценозов и свойств торфа, обусловленные колебаниями климата и водного режима территорий. Этот процесс протекает чаще всего по следующему сценарию. После схода ледника около 10–12 тыс. л.н. в пониженных элементах рельефа на хорошо дренированных песчаных равнинах образуются озера, окруженные лесотундрой или березовым мелколесьем. На их берегах формируется эвтрофная растительность, которая постепенно заменяется мезотрофной и олиготрофной, в периоды повышения влажности климата возрастает обилие топяных мхов *Sphagnum balticum* и *Sphagnum angustifolium*, а в периоды похолодания – обилие пушицы *Eriophorum vaginatum* L. Возрастание же континентальности климата обуславливает быструю смену на сообщества со *Sphagnum fuscum*. В условиях аридизации климата озера начинают зарастать с берегов мозаичной сплавиной из *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum* и *S. balticum*. Большое влияние на процесс заболачивания территории оказывают пожары, частота которых возрастает в условиях аридизации климата [17, 18]. На основании реконструкции скорости аккумуляции торфа и динамики растительных сообществ выявлены многочисленные нарушения аутогенного развития болот частыми сменами климата. Максимальная скорость торфонакопления наблюдалась 3170–2815 и 1000–560 лет назад, очень же низки темпы накопления торфа отмечались 6145–5200, 4100–3000 и 2440–1400 лет назад. В периоды сильного похолодания, отмечавшиеся около 2,1–1,7 тыс. лет назад, процесс торфонакопления во многих районах Субарктики полностью прекращался [19–22].

**Цель работы** – оценка изменений состава торфа в озерно-болотных системах и выделение наиболее информативных показателей, характеризующих региональные особенности их эволюции.

**Материал и методика исследований.** Объектом исследования, проведенного в 2019 году, явилась торфяная залежь озерно-болотной системы «Кошеер», расположенной на территории заповедника «Большая Кокшага» (координаты 56°39′24,19″ с.ш., 47°18′30,61″ в.д.), в пределах которой ручным буром Eijelkamp из нескольких скважин отбирали по градиенту глубины с шагом 0,5 м образцы торфа для оценки его параметров (плотности, зольности, величины рН, влагоемкости, водопоглощения, химического

и флористического состава) в лабораторных условиях. Плотность торфа оценивали расчетным путем [23] посредством измерения исходного объема образца и его массы после длительного выдерживания в сушильном шкафу при температуре 105°C. Значение рН солевой вытяжки образцов проводили по типовой методике [24]. Для оценки гигроскопичности торфа его высушенные образцы выдерживали в течение недели в помещении лаборатории, а для оценки водопоглощения помещали их в пластиковые стаканчики, заливали водой, выдерживали в течение двух недель, сливали ее излишки через сито с ячейками 0,5 мм и взвешивали на электронных весах. Ботанический анализ образцов торфа проведен стандартным методом [25] с использованием соответствующих пособий [26, 27].

В 14 образцах торфа было оценено с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра S8 Tiger (Bruker, Германия) в лаборатории института геологии и нефтегазовых технологий Казанского государственного университета валовое содержание химических элементов. Перед проведением анализа каждый образец размалывали на вибрационной дисковой мельнице в течение 3-х минут для достижения необходимых размеров частиц. Затем брали навеску исследуемого образца массой 4 г и взвешивали на весах с точностью  $10^{-5}$  г. Далее образец смешивали с органическим воском и прессовали на подложку из борной кислоты с усилием в 300 кН. Полученную таблетку помещали в кюветное отделение спектрометра S8 Tiger, оснащенного рентгеновской трубкой мощностью 4 кВт с родиевым анодом, и проводили анализ по стандартизированной методике фирмы Geoquant® [28]. Полученный спектр обрабатывали на компьютере, выявляя наличие паразитных пиков и учитывая дифракционные явления, а также матричные эффекты. После этого брали навеску образца массой 0,5 г, помещали в керамический тигель и прокаливали при температуре 1100°C в течении 2-х часов. Окончательный результат в виде процентного содержания химических элементов в образце формировали с учетом потерь при прокаливании.

Радиоуглеродное датирование образцов торфа проведено жидкостным сцинтилляционным методом [29] в Институте геохимии окружающей среды НАНУ (г. Киев). Содержание изотопа  $^{14}\text{C}$  измерено на низкофоновом спектрометре Quantulus1220 T, а калибровка радиоуглеродных дат осуществлена в программе OxCal v4.3.2 [30] на основе IntCal 13 [31]. У четырех образцов проведен палинологический анализ, химическая подготовка которых включала постадийную обработку кислотами и щелочами для удаления различных компонентов из раствора и двукратную отмывку дистиллированной водой после каждой стадии [32]. Готовые образцы рассматривали под световым микроскопом ZEISS Axio Imager при увеличении 400 крат с подсчетом пыльцевых зерен, спор и непильцевых палиноморф (НПП). Определение пыльцы до семейств и родов проводили с использованием эталонной коллекции Института археологии и этнографии СО РАН и соответствующих атласов [33-36]. Для анализа и реконструкции растительности использовали доленое участие содержания таксонов растений в образце, где за 100 % принимали сумму пыльцы древесных и травянистых растений. В каждом образце было подсчитано более 300 пыльцевых зерен, определено 24 палинотаксона, споры плаунов и папоротников, а также НПП: остатки водорослей, цианобактерий, амёб, грибов и устьица хвойных растений. Количественная реконструкция растительности методом биомизации проведена на основе разработок, адаптированных для территории бывшего Советского Союза и Монголии [37-39]. Цифровой материал обработан с использованием прикладных программ Excel и Statistica общепринятыми методами математической статистики [40, 41].

**Результаты и их обсуждение.** Процесс торфообразования на объекте исследования начался, как показали данные радиоуглеродного анализа (табл. 1), примерно 10,4 тыс. лет назад. Около 8-9 тыс. лет назад объект исследования подвергся какому-то очень мощному внешнему воздействию, которое привело к перемешиванию слоев торфа, в результате чего их возраст на глубине 490-500 и 560-570 см оказался практически одинаковым. Одной из наиболее вероятных причин этой катастрофы является падение метеорита. В пользу этой версии, являющейся пока рабочей гипотезой, безусловно требующей тщательной проверки, свидетельствуют следующие факты: 1) округлая форма озера, 2) наличие в наиболее глубокой его части небольшого округлого возвышения, являющегося центральной горкой кратера; 3) образование в результате выброса грунта со дна озера прослойки с большим количеством песка (83,7 %), находящейся на глубине 560-570 см и представляющей собой остатки вала кратера. После этого процесс развития озерно-болотной системы происходил более или менее монотонно и изменения возраста торфа (A, лет) по градиенту профиля залежи (L, см) с высокой точностью описывает уравнение регрессии  $A = 36,53 \times 10^{-3} \times L^{2,015}$  ( $R^2 = 0,986$ ;  $p < 0,01$ ), на основе которого можно датировать все остальные образцы и устанавливать закономерности динамики их параметров, в том числе годового прироста.

Таблица 1

**Результаты радиоуглеродного датирования образцов торфа из скважины № 2 на берегу оз. Кошеер**

Глубина, см	Лабораторный номер	Радиоуглеродный ( $^{14}\text{C}$ ) возраст образца, лет*	
		некалиброванный	откалиброванный
0-20	Ki-19677	$107,8 \pm 0,8 \text{ \% MC}$	$-51 \pm 10 \text{ MC (2001} \pm 10 \text{ AD)}$
240-250	Ki-19678	$2570 \pm 50$	$2648 \pm 92$
450-460	Ki-19679	$6690 \pm 70$	$7557 \pm 57$
490-500	Ki-19680	$9160 \pm 90$	$10356 \pm 103$
560-570	Ki-19775	$9150 \pm 160$	$10337 \pm 231$

\*Примечание: среднее  $\pm$  стандартное отклонение.

В процессе эволюции озерно-болотной системы «Кошеер» происходили значительные изменения ее параметров и состава растительности, обусловленные как внешними, так и внутренними биоценотическими факторами. Около 8-9 тыс. лет назад урез зеркала воды находился на расстоянии 35 м от современной кромки восточного берега болота, а уровень поверхности озера, заполняющего в то время небольшую по площади замкнутую песчаную котловину, был ниже современного на 6 м. Прибрежная растительность была распространена на узкой полосе шириной не более 5-6 м, о чем свидетельствует ботанический анализ торфа, извлеченного с глубины 540-550 см, в составе которого большое участие занимают растительные остатки кубышки желтой *Nuphar lutea* (L.) Smith и мха *Warnstorfia fluitans* (Hedw.) Loeske in Nitardt. Сфагновая сплавина в то время отсутствовала, а озеро было эвтрофным. В образце обнаружено большое количество угольков, концентрация которых здесь очень велика (рис. 1), а также устьица хвои лиственницы, остатки раковин амёб рода *Arcella*, ооциты плоских червей, покоящиеся споры цианобактерий (*Anabaena* и *Aphanizomenon*) и остатки грибов различной этиологии (рис. 2). Затем растительность резко изменилась на олиготрофную в связи с сильным обводнением озерно-болотной системы, о чем свидетельствует преобладание пушицы, сфагнума узколистного и магелланского. Сильное обводнение озерно-болотной системы отмечалось также в период с 4,7 до 1,9 тыс. лет назад, на что указывает характер ее растительности.



Рис. 1. Колонка торфа, извлеченная с глубины 450-500 см, на которой четко видны следы бывших мощных пожаров.

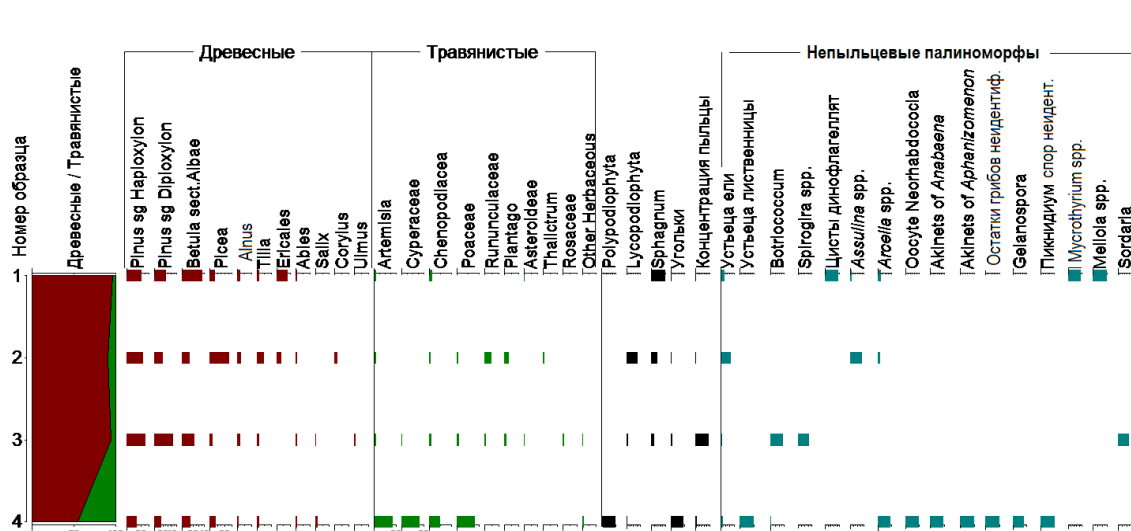


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма образцов торфа с заболоченного восточного берега оз. Кошеер. Образец торфа № 1 взят с глубины 10 см, № 2 – с 240-250 см (абсолютный возраст  $2648 \pm 92$  года), № 3 – с 450-460 см (возраст  $7557 \pm 57$  лет), № 4 – с 490-500 см (возраст  $10356 \pm 103$  года).

Палинологический анализ образцов торфа позволил оценить картину эволюции растительности не только в пределах озерно-болотной системы, но и на прилегающей к ней территории, на которой 10,5 тыс. лет назад были распространены сосново-лиственнично-березовые редколесья с большой долей участия перигляциальных лугов. В образце торфа, извлеченного с глубины 490-500 см (абсолютный возраст  $10356 \pm 103$  лет), доля пыльцы луговых растений составила 45 %. Наиболее представлена среди них пыльца полыни *Artemisia* (16,5 %), осок (15,5 %), злаков (7,6 %) и маревых (4,7 %). Присутствует в ней большое количество спор папоротников (*Polypodiophyta*). Среди древесных доминируют хвойные (36 %), довольно часто встречается пыльца березы (15 %), в небольшом количестве присутствует также пыльца ивы, липы, ольхи и пихты.

В образце, извлеченного с глубины 450-460 см (абсолютный возраст  $7557 \pm 57$  лет), также доминирует пыльца древесных и кустарниковых растений (93 %), наибольшую долю среди которых занимает пыльца сосновых (68,8 %) и березы (21 %). В небольших количествах встречается пыльца ели (2,8 %), ольхи (1,7 %) и липы (1,3 %). Среди трав в образце присутствует пыльца полыни (1,3 %), отмечаются также следы пыльцы маревых (*Chenopodiaceae*), злаков (*Poaceae*) и осок (*Cyperaceae*). Из НПП присутствуют в нем остатки водорослей (*Botriococcum braunii* и *Spirogira spp.*) и споры копротрофных грибов типа *Sordaria*, свидетельствующие о том, что на озере находился водопой крупных травоядных животных, возможно мамонтов, на экскрементах которых они размножались.

В образце с глубины 240-250 см (возраст  $2648 \pm 92$  года) также доминирует пыльца древесных и кустарниковых растений (91 %), среди которых больше всего содержится пыльцы сосны (41 %) и ели (26 %). Довольно велика доля пыльцы теплолюбивых пород: липы (4,5 %) и лещины (1,3 %). Доля пыльцы ольхи составляет 1,9 %, а верескоцветных 4,2 %. Среди трав преобладает пыльца лютиковых *Ranunculaceae* (4,2 %) и подорожника *Plantago* (2,6 %). В образце присутствует значительное количество спор плаунов (*Lycopodiophyta*). Из НПП присутствуют устьица ели и остатки раковин амёб родов *Arcella* и *Assulina*. В это время, судя по резкому снижению степени разложения торфа и большому присутствию влаголюбивого мха *Sphagnum balticum*, произошло сильное обводнение болота и образование сфагновой сплавины в результате отрыва края торфяного слоя от песчаного ложа. Наличие в образце с глубины 140-150 см (абсолютный возраст 1,44 тыс. лет) осоки *Carex cinerea* Poll. свидетельствует о наличии тропы крупных животных, по которой они ходили к озеру на водопой.

В образце современного торфа с глубины 0-20 см преобладает пыльца древесных и кустарниковых растений (98 %). Среди древесных доминирует пыльца сосны (45 %) и березы (36 %), отмечается пыльца ели (6 %), а также следы пыльцы пихты, ольхи и липы. Пыльца верескоцветных кустарников (*Ericales*) составляет 7,6 %. Доля пыльцы травянистых меньше, чем в предыдущем образце. В значительном количестве присутствуют споры сфагновых мхов. Из НПП в образце присутствуют цисты динофитовых водорослей, остатки раковин амёб родов *Arcella* и *Assulina*, которых меньше, чем в предыдущем образце, а также остатки грибов родов *Microthyrium* и *Meliola*.

Таким образом, около 10,4 тыс. лет назад в районе исследования доминировали разреженные хвойные леса с лиственницей с небольшой примесью листопадных пород и значительным присутствием лугов, а озеро Кошеер было эвтрофным. Климат в целом был суше современного и частота пожаров была высокой, составляя в среднем 75-120 лет. Древесная растительность от пожара к пожару полностью восстанавливалась. Около 7,5 тыс. лет назад климат стал, вероятнее всего, более влажным, что привело к сокращению луговых видов растений и доминированию хвойных лесов с большим участием березы (рис. 3). Лиственница из состава лесов видимо полностью исчезла. В поймах реки Большая Кокшага и ее основного притока – Большого Кундыша – были широко распространены дубовые леса, о чем свидетельствует большое количество в них затопленной древесины, возраст которой достигает 5 тыс. лет. Около 2,7 тыс. лет назад отмечалось снижение доли участия в лесах березы и увеличение доли липы, ольхи и ели.

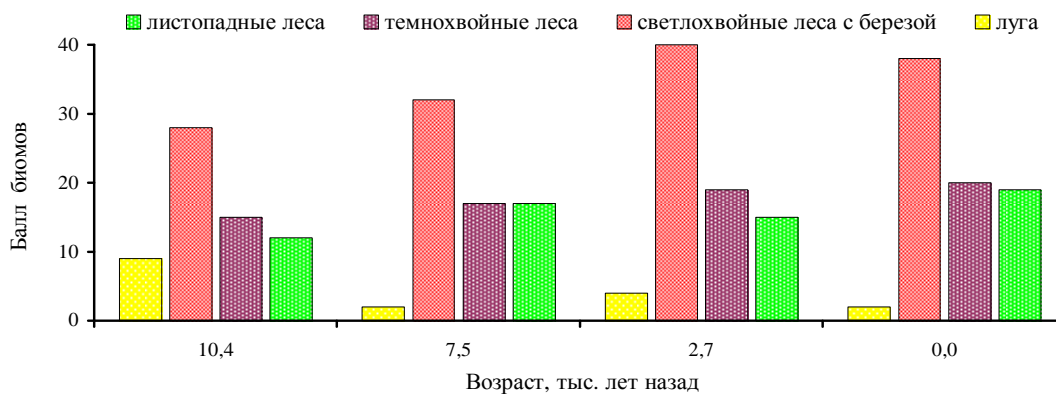


Рис. 3. Динамики растительности в окрестностях озера Кошеер в голоцене, реконструированная по данным палинологического анализа.

Изменения породного состава растительных сообществ, как следует из приведенных данных, происходили в целом не очень существенные, что связано широким распространением в районе исследования бедных песчаных почв. Минерализация воды в озере, питаемом в основном атмосферными осадками, постепенно снижалась за счет поступления их новых порций, а также поглощения солей торфом и водными организмами, остатки которых оседали на дно, образуя слой сапропеля, и оно стало одним из наиболее пресных и чистых в Среднем Поволжье [42].

В процессе эволюции озеро-болотной системы происходила также довольно значительная трансформация физико-химических показателей торфа, связанная как с изменением состава фитоценозов, так и условий внешней среды. Так, к примеру, плотность торфа ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>), как показали измерения и расчеты, закономерно возрастала с глубиной (L, м) и, соответственно, с возрастом 10,4 (A, тыс. лет), а годичный же его прирост ( $\Delta L$ , мм;  $\Delta M$ , кг/га), наоборот, убывал (табл. 2). Эти зависимости описывают следующие уравнения регрессии:

$$\rho = 2,216 \times L^{2,068} + 39,7; R^2 = 0,816;$$

$$\rho = 16,92 \times A^{0,641}; R^2 = 0,828;$$

$$\Delta L = 1,02 \times \exp(-56,95 \times 10^{-3} \times L^{2,185}); R^2 = 0,996;$$

$$\Delta L = 1,18 \times \exp(-21,43 \times 10^{-2} \times A); R^2 = 0,999;$$

$$\Delta M = 448 \times \exp(-98,33 \times 10^{-3} \times A); R^2 = 0,566$$

Таблица 2

**Изменение параметров торфа на заболоченном берегу оз. Кошеер с глубиной и возрастом залежи**

Глубина, см	Возраст, тыс. лет	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Годичный прирост		W, %	ВДП, крат	СЗ, %	pH <sub>сол</sub>
			мм	кг/га				
0-10	0,69	25,8	1,02	262,8	10,5	18,9	0,08	2,74
40-50	0,85	44,2	0,99	435,9	11,0	7,20	0,97	2,92
90-100	1,10	44,9	0,93	419,1	10,2	8,25	1,44	2,86
140-150	1,44	62,7	0,87	544,6	10,3	4,61	1,73	2,89
190-200	1,89	49,5	0,79	389,9	10,0	4,74	0,89	2,93
240-250	2,50	36,8	0,69	254,2	10,8	7,59	1,65	2,97
290-300	3,33	62,6	0,58	363,1	8,4	5,80	2,34	3,51
340-350	4,43	66,1	0,46	302,5	8,8	1,83	2,14	3,90
390-400	5,92	86,4	0,33	287,5	7,9	1,26	2,55	3,70
440-450	7,92	81,7	0,22	177,1	8,7	2,27	5,69	3,94
490-500	10,4	102,7	0,12	125,2	9,1	1,56	8,05	3,83
530-540	-	95,2	0,07	63,7	8,5	2,44	27,7	-
560-570	-	-	-	-	-	-	83,7	-
590-600	-	-	-	-	-	-	9,61	-

**Примечание:** W – гигроскопичность, %; ВДП – водопоглощение, крат; СЗ – содержание золы, %.

Средний годичный прирост торфа, как свидетельствуют приведенные данные, составляет 0,46 мм и 267 кг/га соответственно, что не выходит за рамки, установленные исследователями [8, 13, 43–48] для верховых болот Голарктики, продуктивность которых значительно ниже других экосистем суши в этой зоне [49]. Отклонения плотности торфа и годичного прироста его массы от расчетных значений изменяются с возрастом синхронно ( $r = 0,92$ ) и волнообразно (рис. 4), что связано, как можно предполагать, с колебаниями климата, период которых к настоящему времени неуклонно сокращается, а амплитуда возрастает. Положительные отклонения значений показателей от тренда

имели место 6-7 и 1,44 тыс. лет назад, когда условия для роста болотной растительности и процесса образования торфа были наиболее благоприятными. Низкая же скорость накопления торфа отмечалась в начальном периоде образования болота, а также 2,5 тыс. лет назад, когда, как было отмечено выше, произошел переход эвтрофной стадии развития болота на олиготрофную и в озере в результате резкого подъема воды образовалась сфагновая сплавина. Очень низка она и в настоящее время.

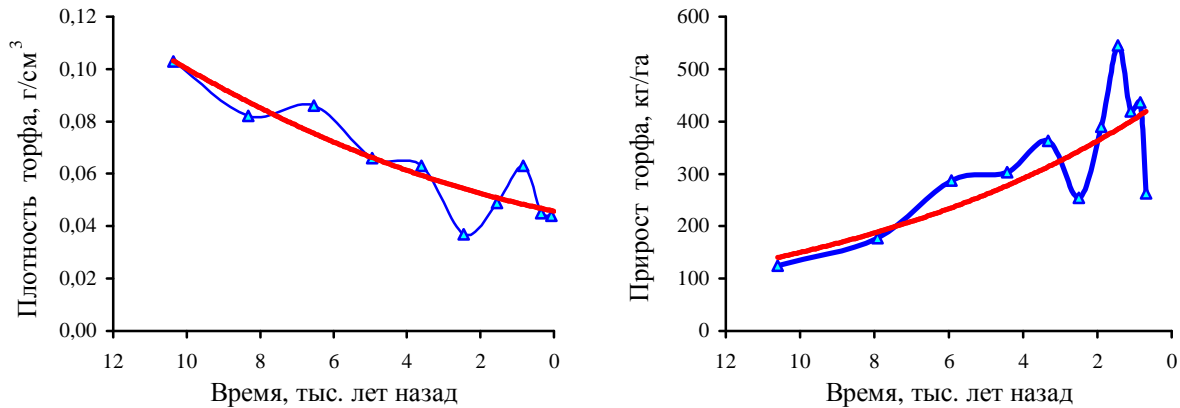


Рис. 4. Динамика плотности торфа и прироста его массы с глубины 5 м до поверхности.

Закономерным образом изменяются с глубиной и временем образования торфа его водно-физические свойства, зольность и кислотность, что описывает набор следующих уравнений регрессии:

$$W = 2,20 \times \exp(-29,75 \times 10^{-4} \times L^{5,65}) + 8,5; R^2 = 0,751;$$

$$W = 2,20 \times \exp(-15,24 \times 10^{-3} \times A^{3,76}) + 8,5; R^2 = 0,763;$$

$$\text{ВДП} = 18,0 \times \exp(-1,335 \times L) + 2,0; R^2 = 0,753;$$

$$\text{ВДП} = 18,0 \times \exp(-80,2 \times 10^{-2} \times A) + 2,0; R^2 = 0,649;$$

$$\text{СЗ} = 20,7 \times 10^{-4} \times L^{5,08} + 1,12; R^2 = 0,942;$$

$$\text{СЗ} = 90,5 \times 10^{-3} \times A^{1,854} + 0,93; R^2 = 0,947;$$

$$\text{pH} = [1 - \exp(-1,94 \times 10^{-3} \times L^{5,75})] + 2,83; R^2 = 0,959;$$

$$\text{pH} = [1 - \exp(-27,4 \times 10^{-5} \times A^{6,87})] + 2,83; R^2 = 0,976$$

в которых  $W$  – гигроскопичность торфа, %; ВДП – его водопоглотительная способность, %; СЗ – зольность, %; pH – значение pH солевой вытяжки;  $L$  – глубина взятия образца торфа, м;  $A$  – возраст образования торфа, тыс. лет назад.

В начале процесса образования торфа около 10,4 тыс. лет назад, как свидетельствуют приведенные данные, его зольность составляла 9,61 %, что наблюдается обычно в эвтрофных болотах. Затем произошло резкое увеличение зольности субстрата в результате, как отмечалось выше, мощной природной катастрофы и он по своим параметрам соответствовал скорее уже не торфу, а торфянистой почве. Затем зольность торфа начала резко снижаться и около 3,5-2,5 тыс. лет назад произошел переход развития болота из эвтрофной стадии в олиготрофную. Отклонения значений зольности и кислотности торфа от расчетных (тренда) изменялись во времени волнообразно и довольно синхронно (рис. 5). Отрицательные их аномалии отмечались 6 и 2 тыс. лет назад, а положительные – 8, 4-3 и 1,9-1,5 тыс. лет назад, характеризую соответствующие изменения условий внешней среды. Отклонения же значений  $W$  и ВДП от тренда изменялись во времени также волнообразно (рис. 6), но совсем не синхронно ( $r = 0,09$ ), что свидетельствует об их разном информативном содержании. Положительные аномалии значений



W имели место 0,85, 2,5 и 4,3 тыс. лет назад, а также в начальный период образования болота, отрицательные же отмечались 1-1,5 и 5,9 тыс. лет назад. Положительные же аномалии значений ВДП отмечались 2,5-3,5 и 7,5-8,5 тыс. лет назад, а отрицательные – 1-1,5 и 4-7 тыс. лет назад.

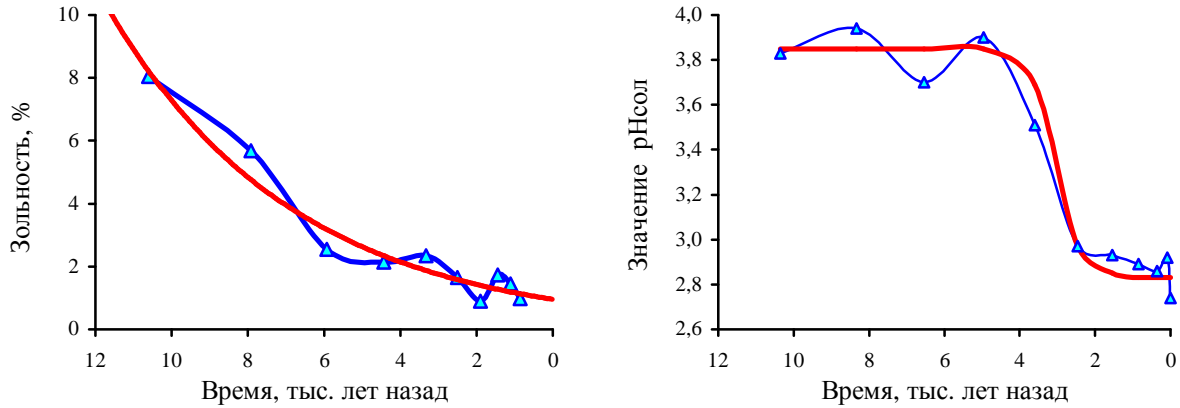


Рис. 5. Динамика значений зольности и кислотности торфа с глубины 5 м до поверхности.

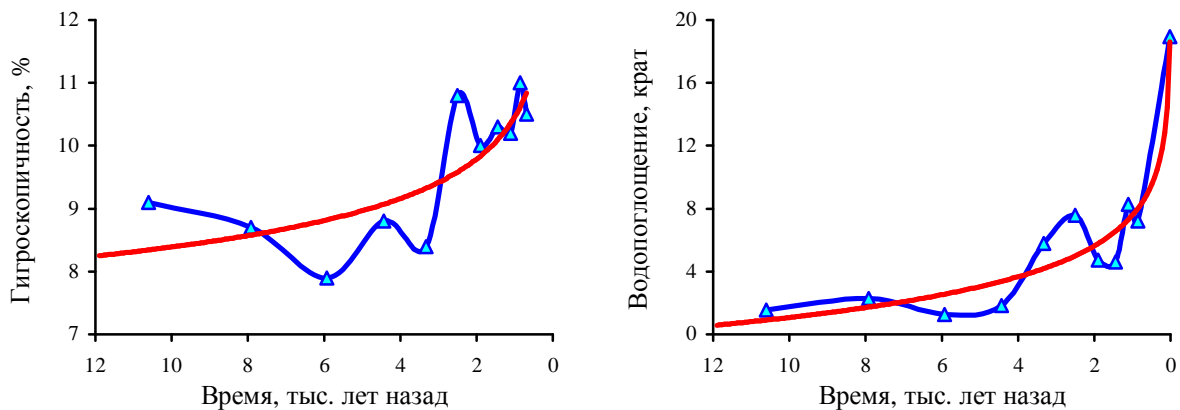


Рис. 6. Динамика значений водно-физических свойств торфа с глубины 5 м до поверхности.

Значения большинства оцененных параметров торфа, как показали расчеты, довольно тесно связаны между собой (табл. 3). Особенно тесно связаны они с плотностью его сложения и приростом по толщине, что описывают соответствующие уравнения регрессии:

$$\Delta L = 1,02 \times \exp(-6,46 \times 10^{-7} \times \rho^{3,263}); R^2 = 0,831;$$

$$W = 2,5 \times \exp(-1,83 \times 10^{-9} \times \rho^{4,913}); R^2 = 0,714;$$

$$\text{ВДП} = 88,4 \times \exp(-65,47 \times 10^{-3} \times \rho) + 2; R^2 = 0,925;$$

$$C3 = 5,35 \times 10^{-5} \times \rho^{2,557}; R^2 = 0,823;$$

$$pH = \{1 - \exp[-1,60 \times 10^{-7} \times (\rho - 25)^{4,25}]\} + 2,84; R^2 = 0,799.$$

Очень большой объем информации об изменениях условий среды в процессе эволюции озерно-болотной системы несет химический состав торфа, ведущие позиции в котором занимают кальций и железо (табл. 4). В 2,6-3 раза ниже содержится в торфе кремния, являющегося в автоморфных почвах лесных биогеоценозов основным [50], и серы, представленность которой в этих почвах очень мала. Довольно велико содержание в торфе, по сравнению с почвами лесных биогеоценозов, фосфора, алюминия, ка-

лия, хлора, титана, брома и бария. Замыкают ранговый ряд содержания элементов в торфе мышьяк, медь, никель и хром. Вариабельность содержания большинства химических элементов в исследованных слоях торфа, как следует из приведенных данных, очень велика. Особенно велика она у брома, серы, алюминия, цинка, кремния, железа, калия и марганца. Меньше же всего варьирует содержание меди, стронция, хлора, хрома, магния и фосфора.

Таблица 3

**Взаимосвязи между параметрами торфа на заболоченном берегу оз. Кошеер**

Параметр	Значения коэффициентов корреляции между параметрами					
	Плотность	Прирост, мм	Прирост, кг/га	W, %	ВДП, %	СЗ, %
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1,00					
Прирост, мм	-0,90	1,00				
Прирост, кг/га	-0,44	0,72	1,00			
W, %	-0,76	0,79	0,40	1,00		
ВДП, %	-0,81	0,73	0,12	0,61	1,00	
СЗ, %	0,86	-0,86	-0,68	-0,50	-0,59	1,00
pH	0,84	-0,93	-0,62	-0,86	-0,72	0,74

**Примечание:** обозначения параметров приведены в таблице 2.

Таблица 4

**Изменчивость содержания химических элементов в торфе на глубине от 40 до 500 см (N = 10)**

Элемент	Значения статистических показателей содержания элементов*				
	M ± m	min	max	Sx	V, %
Зола	2,74 ± 0,73	0,89	8,05	2,31	84,1
Ca	5,20 ± 0,89	2,20	11,6	2,80	53,8
Fe	4,73 ± 1,49	1,36	16,5	4,72	99,7
Si	1,84 ± 0,61	0,41	6,12	1,92	104,4
S	1,75 ± 0,65	0,37	6,12	2,06	117,6
P	0,77 ± 0,07	0,43	1,16	0,235	30,7
Al	0,55 ± 0,21	0,06	1,98	0,649	117,3
K	0,51 ± 0,17	0,12	1,63	0,529	104,2
Cl	0,33 ± 0,04	0,16	0,63	0,128	39,0
Ti	0,29 ± 0,07	0,06	0,74	0,225	77,9
Br	0,20 ± 0,09	0,04	0,75	0,260	128,5
Ba	0,16 ± 0,07	0,09	0,29	0,116	72,7
Zn	0,14 ± 0,05	0,03	0,52	0,157	113,0
Sr	0,13 ± 0,02	0,05	0,29	0,068	51,1
Mn	0,09 ± 0,04	0,02	0,23	0,090	101,9
Mg	0,06 ± 0,01	0,03	0,10	0,021	35,7
As	0,05 ± 0,03	0,02	0,08	0,043	82,0
Cu	0,05 ± 0,01	0,03	0,10	0,022	40,2
Ni	0,04 ± 0,01	0,02	0,10	0,032	79,6
Cr	0,03 ± 0,01	0,02	0,05	0,014	48,6

\***Примечание:** M ± m – среднее арифметическое значение и его ошибка, min, max – минимальное и максимальное значения, Sx – стандартное отклонение, V – коэффициент вариации; содержание золы выражено в %, а химических элементов – в г на 1 кг абсолютно сухого торфа.

Содержание Si, Fe, S, Ca, Al, K и Ti, как показали расчеты, очень тесно связано с содержанием в торфе золы ( $r = 0,95-0,99$ ), поэтому нет смысла анализировать изменение этих параметров во времени отдельно друг от друга. Довольно тесно связано с зольностью торфа содержание в нем Cu и Zn ( $r = 0,84-0,85$ ), а также Mg и P ( $r = 0,74-0,77$ ). Менее всего зависит от зольности торфа содержание в нем Cl ( $r = 0,61$ ). Долевое же участие элементов в общем их содержании в торфе варьирует в процессе эволюции озерно-болотной системы менее значительно (табл. 5). Наиболее велика вариабельность долевого участия в составе комплекса всех элементов мышьяка ( $V = 62,8 \%$ ) и бария ( $V = 62,8 \%$ ). Меньше же всего изменяется долевого участия в нем кальция ( $V = 19,5 \%$ ) и железа ( $V = 15,9 \%$ ). Коэффициент вариации долевого участия большинства химических элементов изменяется в пределах от 25 до 40 %.

Таблица 5

**Изменчивость долевого участия элементов в их комплексе на глубине от 40 до 500 см (N = 10)**

Элемент	Значения статистических показателей долевого участия элементов				
	$M \pm m, \%$	min, %	max, %	$S_x, \%$	V, %
Ca	$35,7 \pm 2,20$	23,0	42,4	6,95	19,5
Fe	$26,1 \pm 1,31$	18,9	34,2	4,13	15,9
Si	$10,0 \pm 0,84$	6,35	14,0	2,66	26,5
S	$8,54 \pm 1,07$	5,09	14,8	3,37	39,5
P	$5,97 \pm 0,68$	2,18	8,33	2,14	35,9
Al	$2,71 \pm 0,32$	0,93	4,56	1,00	37,0
K	$2,70 \pm 0,22$	1,99	4,03	0,70	25,8
Cl	$2,55 \pm 0,30$	0,68	4,23	0,95	37,1
Ti	$1,76 \pm 0,17$	1,08	2,85	0,55	31,0
Sr	$0,95 \pm 0,10$	0,50	1,55	0,30	31,9
Br	$0,89 \pm 0,14$	0,53	1,65	0,42	47,2
Zn	$0,73 \pm 0,10$	0,45	1,56	0,32	43,8
Ba	$0,62 \pm 0,19$	0,30	0,95	0,33	52,7
Mg	$0,45 \pm 0,06$	0,17	0,84	0,20	43,4
Cu	$0,41 \pm 0,04$	0,17	0,59	0,13	31,5
Mn	$0,33 \pm 0,07$	0,15	0,47	0,14	43,1
Ni	$0,25 \pm 0,02$	0,16	0,36	0,07	27,5
Cr	$0,12 \pm 0,02$	0,09	0,19	0,04	34,5
As	$0,12 \pm 0,05$	0,07	0,17	0,07	62,8

**Примечание:** обозначения параметров приведены в таблице 4.

Все элементы химического состава торфа имеют разный характер изменения своего долевого участия в их комплексе в процессе эволюции озерно-болотной системы и разделяются на ряд довольно четко выраженных групп: нормированные значения показателей, выраженные в долях от среднего по каждому из них, у одних элементов закономерно убывают с возрастом, а других же, наоборот, возрастают (рис. 7). Особенно сильно выражена тенденция к снижению долевого участия в комплексе у серы и алюминия, нормированные же значения показателя у фосфора, хлора, магния и меди увеличиваются по мере развития озерно-болотной системы. Менее всего тенденция к изменению долевого участия в комплексе химических элементов проявляется у титана.

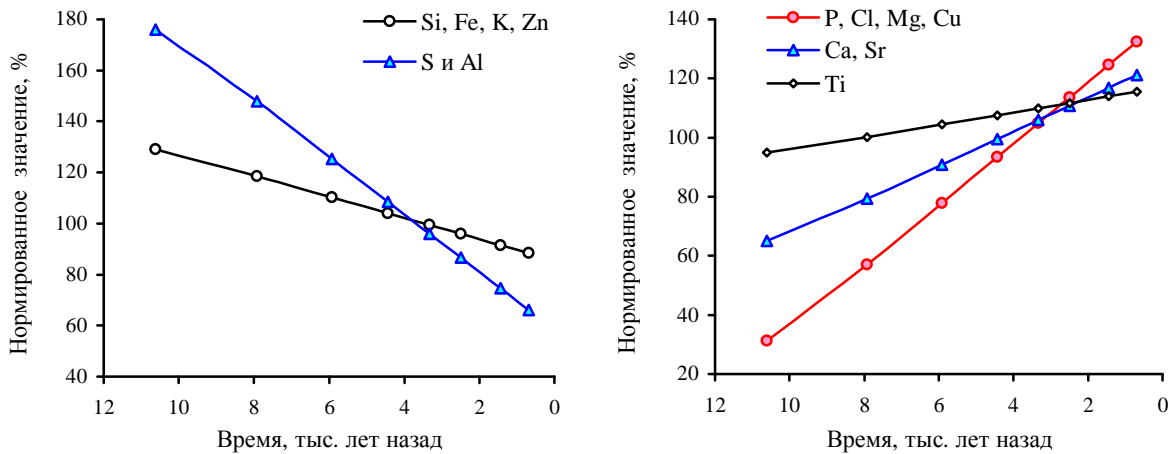


Рис. 7. Тренды изменения долевого участия разных групп химических элементов в торфе.

Элементы, входящие в химический состав торфа, объединяются между собой по характеру отклонений долевого участия в их комплексе от трендовых значений в две четко выраженные группы (рис. 8), в пределах которых они дифференцированы еще на ряд подгрупп, имеющих свою специфику динамики (рис. 9). Так, сильные положительные отклонения от тренда у восьми элементов, входящих в состав алюмосиликатной группы, отмечались в периоды 7-8, 3,5 и 1,1-1,9 тыс. лет назад, а отрицательные же аномалии – 4-5 тыс. лет назад, характеризую соответствующие изменения условий внешней среды. Отклонения пяти элементов кальциево-магниевой группы от трендовых значений происходили почти в противофазе по отношению к первой их группе: сильные положительные отклонения отмечались в периоды 4,5-6 и 0,8-1,1 тыс. лет назад, а отрицательные же аномалии – 8 и 1,5 тыс. лет назад.

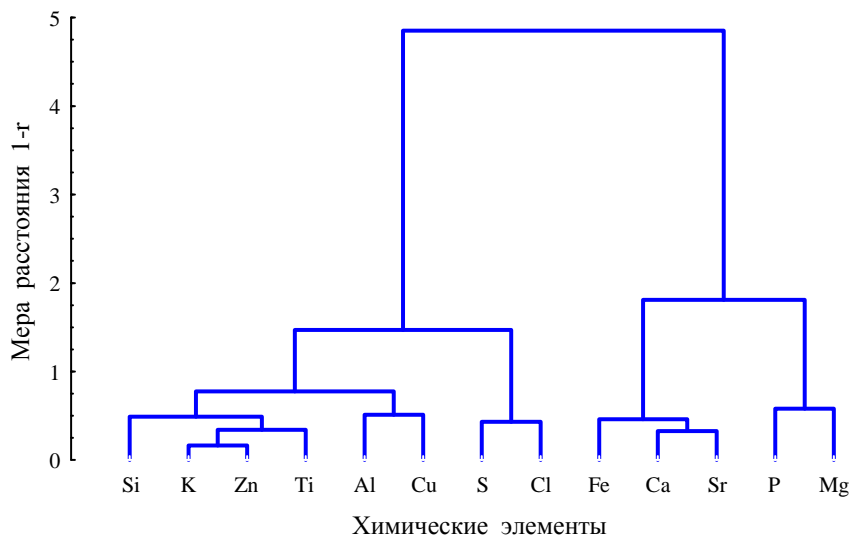


Рис. 8. Дендрограмма сходства отклонений фактических значений долевого участия химических элементов в различных слоях профиля торфяной залежи от их тренда.

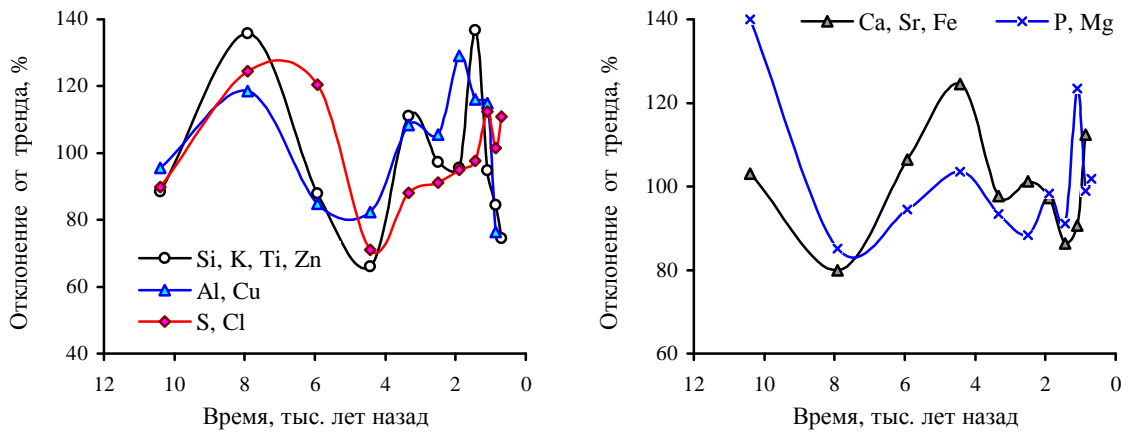


Рис. 9. Отклонения от тренда изменения доли в торфе химических элементов разных групп.

Анализ полученных данных показал, что положительные аномалии относительного содержания в торфе элементов алюмосиликатной группы отмечаются в периоды наибольшего прироста его массы, высокой зольности и пониженной кислотности. У элементов же кальциево-магниевого группы они отмечались, наоборот, в периоды наименьшего прироста массы торфа, его низкой зольности и повышенной кислотности. Наиболее высоки отклонения от тренда как в сторону положительных, так и отрицательных значений в первой группе элементов у Al, Ti и Zn, а во второй – у Sr и Mg.

**Выводы.** 1. Процесс образования торфа на берегу озера «Кошеер» начался в раннем голоцене примерно 10,4 тыс. лет назад, а около 8-9 тыс. лет назад объект исследования подвергся мощному внешнему воздействию, приведшему к перемешиванию слоев торфа. Одной из предполагаемых причин этого воздействия, требующей проведения дальнейших исследований, является падение метеорита.

2. Изменения возраста образования торфа по градиенту профиля залежи с глубины 5 м и до ее поверхности описывает уравнение регрессии  $A = 36,53 \times 10^{-3} \times L^{2,015}$ , на основе которого удалось датировать все остальные образцы и устанавливать закономерности динамики оцениваемых параметров.

3. В процессе эволюции озерно-болотной системы «Кошеер» происходили значительные изменения состава растительности и торфа, обусловленные как внешними, так и внутренними биоценотическими факторами. По мере ее развития закономерно увеличивался годичный прирост массы торфа, а также относительное содержание в нем фосфора, хлора, магния, меди, кальция и стронция. Очень слабая тенденция возрастания содержания в торфе отмечена также у титана. Содержание же серы, алюминия, кремния, железа, калия и цинка, наоборот, снижалось.

4. Отклонения значений физических и химических параметров торфа от расчетных (тренда) изменялись во времени волнообразно, характеризуя во многом динамику условий внешней среды, в том числе и климата. Положительные аномалии относительного содержания в торфе элементов алюмосиликатной группы отмечались в периоды наибольшего прироста его массы, высокой зольности и пониженной кислотности, а у элементов кальциево-магниевого группы, наоборот, в периоды наименьшего прироста, низкой зольности и повышенной кислотности. Наиболее высоки отклонения от тренда как в сторону положительных, так и отрицательных значений у алюминия, титана, цинка, стронция и магния.

5. Условия для роста растительности и процесса накопления торфа были наиболее благоприятными 6-7 и 1,5 тыс. лет назад, а самые плохие – в начальный период образо-

вания болота, а также 2,5 тыс. лет назад во время перехода эвтрофной стадии его развития на олиготрофную. Очень низка скорость образования торфа и в настоящее время.

6. Наиболее информативными показателями скорости болотообразовательного процесса и воздействия на него факторов внешней среды, в том числе климата, являются величина годичного прироста торфа, его зольность, значение величины рН солевой вытяжки и относительного содержания в нем различных химических элементов, особенно алюминия, титана, цинка, стронция, магния, фосфора и хлора. Для детальной же оценки динамики изменений условий внешней среды в процессе эволюции озерно-болотных систем целесообразно проводить анализ всего комплекса биологических, физических и химических параметров торфа.

Работа по радиоуглеродному датированию образцов торфа выполнена сотрудником отдела географии и эволюции почв Института географии РАН (г. Москва), кандидатом географических наук А.В. Долгих в рамках ГЗ № 0148-2019-0006.

### *Список литературы*

1. *Кусакин А. В.* Болота Марий Эл: Охрана и рациональное использование. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2000. 200 с.
2. *Демаков Ю. П., Сафин М. Г., Швецов С. М.* Сосняки сфагновые Марийского Полесья: структура, рост и продуктивность. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2012. 276 с.
3. *Кац Н. Я., Кац С. В.* История растительности болот севера Сибири как показатель изменений послеледникового ландшафта // Труды Ин-та географии АН СССР. 1946. Т. 37. С. 331–348.
4. *Жуков В. М.* Климат и процесс болотообразования // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1971. С. 13–30.
5. Палинологическая характеристика и датировка по  $C^{14}$  торфяника в Александровском районе Томской области (среднетаежная зона) / Ф.З. Глебов, Л.С. Тойленко, Э.В. Стариков и др. // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука, 1974. С. 194–200.
6. *Лисс О. Л., Березина Н. А., Куликова Г. Г.* Возраст болот центральной части Западно-Сибирской равнины // Природные условия Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1976. Вып. 6. С. 69–86.
7. *Хотинский Н.А., Климанов В.А.* Радиоуглеродный возраст и климатические условия развития бугристых торфяников Надым-Казымского междуречья в голоцене // Вопросы экологии растений, болот, болотных местообитаний и торфяных залежей. Петрозаводск, 1985. С. 132–140.
8. *Климанов В. А., Сирин А. А.* Динамика торфонакопления болотами Северной Евразии за последние 3000 лет // Доклады РАН. 1997. Т. 354, № 5. С. 683–686.
9. Ландшафты и климат Прибайкалья в послеледниковье и голоцене по результатам комплексных исследований торфяников / Е.В. Безрукова, С.К. Кривоногов, А.А. Абзаева и др. // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 1. С. 21–33.
10. *Прейс Ю. И.* Детальная реконструкция функционального состояния болота как отклик на изменения континентального климата голоцена (средняя тайга Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 2. С. 90–102.
11. Анализ климатических стадий формирования болот по ботаническому составу торфа / К.А. Зубкова, Е.С. Гонина, Л.Н. Шихова, Е.М. Лисицын // Вестник Оренбургского университета. 2016. № 5 (193). С. 57–64.
12. *Инишева Л. И., Березина Н. А.* Возникновение и развитие процесса заболачивания на Западно-Сибирской Равнине // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 366. С. 172–179.
13. *Инишева Л. И., Кобак К. И., Турчинович И. Е.* Развитие процесса заболачивания и скорость аккумуляции углерода в болотных экосистемах России // География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 60–68.
14. *Новиков С. М.* О развитии болотных массивов в лесной зоне // Метеорология и гидрология. 1991. № 3. С. 17–24.
15. *Степанова В. А., Волкова И. И.* Особенности формирования верховых болот в лесостепи Западной Сибири // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. С. 118–120.
16. Peat stratigraphy and changes in peat formation during the Holocene in Latvia / L. Kalnina, N. Stivrins, E. Kuske et al // Quaternary International. 2015. Vol. 383. P. 186–195.

17. Развитие природной среды среднегорья Южного Сихотэ-Алиня, запечатленное в разрезах торфяников Сергеевского плато / Н.Г. Разжигаева, Л.А. Ганзей, Т.А. Гребенникова, Л.М. Мохова, Т.А. Коптева и др. // Тихоокеанская геология. 2019. Т. 38, № 1. С. 13–31.
18. Pitkanen A., Tolonen K., Jungner H. A basin-based approach to the long-term history of forest fires as determined from peat strata // *The Holocene*. 2001. N 11 (5). P. 599–605.
19. Волкова В. С., Гнибиденко З. Н., Горячева А. А. Климатическая ритмика голоцена центральной части Западно-Сибирской равнины (палинология, магнетизм) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002. С. 48–57.
20. Payette S., Delwaide A. Recent permafrost Dynamics of subarctic wetlands forests over the past 1500 years // *Ecological Monographs*. 2004. V. 74. P. 373–391.
21. Bhiry N., Robert E. C. Reconstruction of changes in vegetation and trophic conditions of a palsa in a permafrost peatland, subarctic Quebec, Canada // *Icoscience*. 2006. V. 13. № 1. P. 56–65.
22. Bhiry N., Payette S., Robert E. C. Peatland development at the arctic tree line (QuJbec, Canada) influenced by flooding and permafrost // *Quaternary Research*. 2007. V. 67. P. 426–437.
23. Лиштван И. И., Король Н. Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск: Наука и техника, 1975. 320 с.
24. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 272 с.
25. ГОСТ 28245-89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. М.: Изд-во стандартов, 1989. 6 с.
26. Домбровская А. В., Коренева М. М., Тюрмнов С. Н. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. 230 с.
27. Куликова Г. Г. Краткое пособие по ботаническому анализу торфа. М.: МГУ, 1974. 94 с.
28. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. М.: Мир, 1989. 608 с.
29. Skripkin V., Kovalyukh N. Recent developments in the procedures used at the SSCER laboratory for the preparation of Lithium Carbide // *Radiocarbon*. 1998. V. 40 (1). P. 211–214.
30. Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates // *Radiocarbon*. 2009. V. 51 (1). P. 337–360.
31. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP / P. J. Reimer, E. Bard, A. Bayliss, J. W. Beck, P. G. Blackwell et al. // *Radiocarbon*. 2013. V. 55 (4). P. 1869–1887.
32. Faegri K., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. The Blackburn Press, 1989. 328 p.
33. Сладков А. Н. Определение видов *Lycoperidium L.* и *Selaginella Spring* по спорам и микроспорам // Труды Института географии АН СССР. 1951. № 50. С. 167–199.
34. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. Lamiaceae-Zygophyllaceae. Л.: Наука, 1978. 183 с.
35. Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Supplement 1. Marseille, France: Laboratoire de botanique historique et palynologie, URA CNRS, 1995. 520 p.
36. Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Supplement 2. Marseille, France: Laboratoire de botanique historique et palynologie, URA CNRS, 1998. 530 p.
37. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka / C.I. Prentice, J. Guiot, B. Huntley, D. Jolly, R. Cheddadi // *Climate Dynamics*. 1996. V. 12. P. 185–194.
38. Present day and mid Holocene biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from the former Soviet Union and Mongolia / P.E. Tarasov, T. Webb III, A.A. Andreev et al. // *Journal of Biogeography*. 1998. V. 25, № 6. P. 1029–1053.
39. Тарасов П. Е. Реконструкции климата и растительности Северной Евразии позднего плейстоцена по палинологическим данным // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: МГУ, 2000. С. 70–96.
40. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.
41. Гринин А. С., Орехов Н. А., Новиков В. Н. Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.
42. Озера Среднего Поволжья. Л.: Наука, 1976. 236 с.
43. Иванов К. Е. О торфонакоплении и образовании болот как физико-географическом процессе // Вест. ЛГУ. Сер. геология и география. 1972. Вып. 4. № 24. С. 103–113.
44. Пьявченко Н. И. Болотообразовательный процесс в лесной зоне // Значение болот в биосфере. М.: Наука, 1980. С. 7–15.
45. Коломыев В. А. Болотообразовательный процесс в среднетаежных ландшафтах Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КНЦ РАН, 1993. 83 с.

46. Содержание и скорость аккумуляции углерода в болотах бывшего Советского Союза / М.С. Боч, К.И. Кобак, Т.П. Кольчугина, Т. Винсон // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1994. Т. 99, вып. 4. С. 59-69.
47. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / О.Л. Лисс, Л.И. Абрамова, Н.А. Аветов и др. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
48. Накопление углерода в почвах лесных и болотных экосистем южного Валдая в голоцене / Т.Ю. Минаева, С.Я. Трофимов, О.А. Чичагова и др. // Изв. РАН. Сер. биол. 2008. № 5. С. 607–616.
49. *Базилевич Н. И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
50. Использование рентгенофлуоресцентного анализа для оценки содержания химических элементов в почве лесных биогеоценозов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, Б.И. Гареев, Г.А. Баталин // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 8. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. С. 56-75.

Статья поступила в редакцию 25.02.2020 г.  
Принята к публикации 14.06.2020 г.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Демаков Юрий Петрович* – доктор биологических наук, главный научный сотрудник государственного природного заповедника «Большая Кокшага», профессор-консультант кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии Поволжского государственного технологического университета. Автор более 340 печатных работ, в том числе 12 монографий и учебных пособий. Область научных интересов – биогеоценология, болотоведение, геоэкология и климатология.

E-mail: DemakovYP@volgatech.net; тел. 89177158939.

*Исаев Александр Викторович* – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора государственного природного заповедника «Большая Кокшага» по научной работе. Автор более 70 публикаций, в том числе одной монографии. Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение, охрана природы.

*Богданов Геннадий Алексеевич* – старший научный сотрудник государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Автор более 50 публикаций, в том числе двух монографий. Область научных интересов – ботаника, бриология, лишенология, охрана природы.

*Тишин Денис Владимирович* – кандидат биологических наук, доцент Казанского федерального университета. Автор более 70 публикаций, в том числе одной монографии. Область научных интересов – дендрохронология, биогеоценология, геоэкология.

*Жилич Снежана Викторовна* – младший научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (г. Новосибирск). Автор более 40 публикаций. Научные интересы – палинология, вопросы реконструкции растительности и климата.

*Долгих Андрей Владимирович* – кандидат географических наук, научный сотрудник отдела географии и эволюции почв Института географии РАН (г. Москва). Автор более 120 публикаций. Научные интересы – генезис, география и эволюция почв.



## РЕФЕРАТ

УДК 581.5 (470.343)

DOI

**ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И ПАРАМЕТРОВ ТОРФА В ПРОЦЕССЕ  
ЭВОЛЮЦИИ ОЗЕРНО-БОЛОТНОЙ СИСТЕМЫ «КОШЕЕР»  
(РЕСПУБЛИКА МАРИЙ ЭЛ)**

**Ю. П. Демаков<sup>1,2</sup>, А. В. Исаев<sup>1</sup>, Г. А. Богданов<sup>1</sup>,  
Д. В. Тишин<sup>3</sup>, С. В. Жилич<sup>4</sup>, А. В. Долгих<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»  
Российская Федерация, 424038, г. Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26

<sup>2</sup>Поволжский государственный технологический университет,  
Российская Федерация, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) Федеральный университет  
Российская Федерация, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

<sup>4</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН,

Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, ул. Академика Лаврентьева, 17

<sup>5</sup>Институт географии РАН, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4

**Ключевые слова:** озерно-болотные системы; торф; состав; свойства; вертикальная стратификация; радиоуглеродная датировка; динамика; математические модели.

**Введение.** Актуальность темы статьи обусловлена необходимостью совершенствования методов изучения динамики природных геосистем и оценке влияния на нее факторов внешней среды.

**Цель работы** – оценка изменений состава торфа в озерно-болотных системах и выделение наиболее информативных показателей, характеризующих региональные особенности их эволюции.

**Материал и методика исследований.** Объектом исследования явилась озерно-болотная система «Кошеер», расположенная на территории заповедника «Большая Кокшага» (координаты 56,657806° с.ш., 47,305278° в.д.), в пределах которой специальным буром отбирали из нескольких скважин с разной глубины образцы торфа для оценки всех его параметров. Цифровой материал обработан на компьютере с использованием общепринятых методов математической статистики и стандартных программ.

**Результаты и обсуждение.** Показано, что в процессе эволюции озерно-болотной системы закономерно увеличивался годичный прирост массы торфа, а также относительное содержание в нем P, Cl, Mg, Ca, Sr и Cu. Концентрация же S, Al, Si, Fe, K и Zn, наоборот, снижалась. Положительные аномалии относительного содержания в торфе Si, Al, S, Cl, K, Ti, Zn и Cu отмечались 6-7 и 1,5 тыс. лет назад в периоды наибольшего прироста его массы, высокой зольности и пониженной кислотности, а Ca, Mg, Sr, Fe и P, наоборот, в периоды наименьшего прироста, низкой зольности и повышенной кислотности, наблюдавшиеся в начальный период образования болота, а также 2,5 тыс. лет назад во время перехода эвтрофной стадии его развития на олиготрофную.

**Вывод.** Наиболее информативными показателями скорости течения болотообразовательного процесса и воздействия на него факторов внешней среды являются величина годичного прироста торфа, его зольность, значение величины рН солевой вытяжки и относительного содержания в нем различных химических элементов, особенно алюминия, титана, цинка, стронция, магния, фосфора и хлора.