

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-2-244-263>

УДК 551.794, 551.583.7



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

История растительности и пожаров арктической части Пур-Тазовского междуречья в голоцене

Н.В. Шефер^{1,2}, Т.А. Бляхарчук^{1,2}, С.В. Лойко¹,
Л.С. Шумиловских³, И.И. Гуреева¹*

¹ — Томский государственный университет, Томск, Россия

² — Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
Томск, Россия

³ — Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия

**vchifz@mail.tsu.ru*

Резюме

Чтобы реконструировать голоценовую историю растительности и пожаров современной южной тундры в нижнем течении р. Таз, мы провели палинологические исследования торфяных и подстилающих озерных отложений, сформированных за последние 11,2 кал. тыс. л. согласно полученным 8 радиоуглеродным датировкам. В ходе исследования были обнаружены: 31 пыльцевой таксон, 4 таксона споровых растений, 2 типа спор грибов, один вид раковинной амебы и зеленая водоросль. На исследуемом участке выделено несколько этапов в развитии местного водно-болотного биоценоза, реконструирована история растительного покрова региона. 11,2 кал. тыс. л. н. на исследуемой территории преобладали луга, группы деревьев в зарослях кустарников и озерно-болотные комплексы. Луга постепенно дополнялись высокопродуктивными травянистыми сообществами влаголюбивых растений, которые затем преобразовались в болота и тундровые комплексы в середине голоцена. Установлены временные периоды локальных пожаров. Пожар, который в наибольшей степени затронул растительность на исследуемом участке, произошел в период 8,1 кал. тыс. л. н. Выявлены периоды наименьшей и наибольшей пожарной активности — 7,6–5,5 кал. тыс. л. н. и 11,2–8 кал. тыс. л. н. соответственно.

Ключевые слова: Арктика, голоцен, динамика растительности, Западная Сибирь, микроугольковый анализ, палинологический анализ, пожары.

Для цитирования: Шефер Н.В., Бляхарчук Т.А., Лойко С.В., Шумиловских Л.С., Гуреева И.И. История растительности и пожаров арктической части Пур-Тазовского междуречья в голоцене // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 2. С. 244–263. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-2-244-263>.

Поступила 16.01.2023

После переработки 13.03.2023

Принята 16.06.2023

History of vegetation and fires in the Arctic part of the Pur-Taz interfluvium in the Holocene

Nikita V. Shefer^{1,2}, Tatiana A. Blyakharchuk^{1,2}, Sergey V. Loiko¹,
Lyudmila S. Shumilovskikh³, Irina I. Gureyeva¹*

¹ — Tomsk State University, Tomsk, Russia

² — Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

³ — Georg-August-University of Göttingen, Göttingen, Germany

**vchifz@mail.tsu.ru*

Summary

The global climate change and significantly increased anthropogenic pressure on the Arctic and Subarctic regions require modern ecosystem monitoring and understanding of the past environmental changes. Vegetation history is reflected by pollen spectra recorded in peat deposits, investigation of which is one of the main methods in the research of long-term climatic changes. In order to reconstruct the vegetation and fire history of today's south tundra in the lower reaches of the Taz river, we carried out palynological exploration of peat and underlying lake sediments covering the last 11.2 cal ka BP in the Tazovsky district of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (Russia). In the course of the research, we found 31 pollen taxa, 4 taxa of spore plants, 2 types of fungal spores, one species of shell amoeba and green algae. We have identified several stages in the development of the local wetland biocenosis at the study site and reconstructed the history of changes in the vegetation cover of the region, including changes in the composition of the woody vegetation. Grasslands, with groups of trees among thickets of shrubs and lake-mire complexes dominated in the study area by 11.2 cal ka BP. The grasslands were gradually supplemented by wet grass communities, which were then replaced by swamps and tundra complexes in the mid-Holocene. The time periods of the local fires have been established. The fire that had the greatest effect on the vegetation at the study site was detected in the period of 8.1 cal ka BP. We have revealed periods of the least fire activity — 7.6–5.5 cal ka BP and the highest fire activity — 12.5–8 cal ka BP.

Keywords: fires, Holocene, micro-charcoal analysis, palynological analysis, the Arctic, vegetation dynamics, Western Siberia.

For citation: *Shefer N.V., Blyakharchuk T.A., Loiko S.V., Shumilovskikh L.S., Gureyeva I.I.* History of vegetation and fires in the Arctic part of the Pur-Taz interfluvium in the Holocene. *Arctic and Antarctic Research*. 2023, 69 (2): 244–263. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-2-244-263>.

Received 16.01.2023

Revised 13.03.2023

Accepted 16.06.2023

ВВЕДЕНИЕ

Южная тундра составляет 6 % территории Арктики и Субарктики Западной Сибири, 29 % этого региона занято болотами [1]. Болота Арктики и Субарктики служат важным звеном в глобальном балансе углерода. Для этих территорий характерно присутствие вечной мерзлоты в почвах. Современное потепление климата приводит к таянию мерзлоты с порой катастрофическими последствиями. Насколько эти явления обусловлены природной динамикой климата, а насколько — антропогенным влиянием, возможно оценить, только рассматривая долговременные изменения климата. Однако инструментальные наблюдения изменений климата охватывают лишь последнее столетие. Как изменялся климат в течение более длительного времени (столетий и тысячелетий) и какие изменения в ландшафтах севера он вызывал, можно исследовать, лишь используя палеоэкологические методы. Среди последних наиболее информативным является палеопалинологический метод, поскольку он позволяет

реконструировать разные компоненты природы — растительный покров, климат, распространение пожаров и даже направление ветров, преобладавших в прошлом. Однако особенностью палеопалинологических данных является неоднородность составляющих пыльцевые спектры компонентов. Последние по происхождению можно разделить на локальные, сублокальные, субрегиональные и региональные. Для правильной оценки доли указанных компонентов в пыльцевом спектре необходимо знать местную флору и особенности организации растительного покрова. Выявление движущих факторов изменений растительного покрова и климата в регионе возможно лишь при четком отделении явлений локального происхождения (например, саморазвитие болотного массива или озера) от явлений, вызванных глобальными изменениями климата (например, промерзание талых болот в результате позднего-лоценового похолодания) [2].

Решение отмеченных проблем возможно при использовании комплексных палеоэкологических исследований торфяных и озерных отложений, включающих высокоразрешающий спорово-пыльцевой анализ и радиоуглеродное датирование. Изменения растительности отражаются в ископаемых пыльцевых спектрах, зафиксированных в торфяных отложениях болот. В свою очередь, изменения климата приводят к изменению растительного покрова. Но не только климат вызывает изменения растительного покрова. Это происходит также в результате закономерного саморазвития болот, накапливающих торф, изменения геохимического статуса ландшафтов, антропогенного воздействия и др. Важно правильно оценивать причинно-следственные связи в природе. В этом отношении природные ландшафты арктических, субарктических и бореальных регионов, богатые торфяными отложениями болот, являются перспективным объектом для палеореконструкций прошлых изменений климата и ландшафтов.

Для зон современной южной кустарниковой тундры и лесотундры на территории России проведено множество работ по реконструкции растительности и климата в голоцене с применением палинологического анализа [3–6]. Ряд работ по изучению отложений Ямало-Гыданской провинции и особенностей формирования торфяников на севере Западной Сибири рассматриваются в публикации С.М. Фотиева [7]. Однако в ней нет данных для юго-восточной оконечности провинции, где ранее уже проводились палеопалинологические исследования, совмещенные с исследованиями ботанического состава торфа [8, 9]. Проводилась реконструкция основных климатических изменений [10] и палеопожаров [8].

Выполненные для севера Пур-Тазовского междуречья реконструкции растительности [8, 9] существенно различаются между собой по региональному компоненту, несмотря на довольно незначительное расстояние между этими разрезами (~80 км), что вызывает потребность в дополнительных данных. Реконструкция палеопожаров, выполненная ранее [8], выявила незначительную роль пожаров в регионе (за исключением раннего голоцена).

Цель данного исследования состояла в реконструкции изменений растительности, климата и динамики пожаров в голоцене вблизи современной границы тундры и лесотундры в субарктической части Пур-Тазовского междуречья на основе данных радиоуглеродной геохронологии, спорово-пыльцевого анализа, включая микроугольки, непыльцевые палиноморфы (НПП) и изменение концентрации пыльцы. Объектом исследования явились торфяные и подстилающие их озерные отложения, отобранные

в виде колонки длиной 400 см из центра полигона полигонального болота в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор торфяной колонки СКТ-15-3D из мерзлого полигонального болота (67° 21' 25" с. ш.; 78° 42' 11" в. д.; 9 м над уровнем моря) произведен в 2015 г. недалеко от поселка Тазовский в южной тундре, расположенной в северо-восточной части Пур-Тазовского междуречья (Западно-Сибирская равнина). В административном отношении это Тазовский район Ямало-Ненецкого автономного округа (Россия).

Рельеф

Изученное полигональное болото (рис. 1) расположено на северо-востоке Пур-Тазовского междуречья, на левобережном террасовом комплексе реки Таз. Почвы представлены чередующимися в пространстве участками с преобладанием на поверхности пылеватых супесей, суглинков, реже глин и песков. Минералогический состав отложений преимущественно полевошпато-кварцевый [11]. Многолетняя мерзлота имеет сплошное распространение. В пределах террас распространены пологоволнистые дренированные равнины, расчлененные балочно-речной сетью и плоские слабоволнистые заозеренные равнины с большим числом хасыреев [12]. В этой части междуречья высока степень заболоченности и заозеренности [13, 14]. Отсутствие обнаженных коренных пород и наличие мощного слоя четвертичных отложений (глины, глинистых и песчаных грунтов) типично для региона [15], что обусловлено распространением многолетней мерзлоты и равнинностью территории [16].

В этой болотной подзоне преобладают реликтовые полигональные болота, расположенные в мезопонижениях рельефа [7]. Микрорельеф полигональных болот представлен чередованием повышений (полигонов) и вытянутых межполигональных понижений (трещин) [17]. На болотах, в зависимости от условий дренажа, образуются различные формы рельефа: на слабодренированных участках — полигонально-валиковые болота, на сильно дренированных — полигональные торфяники.

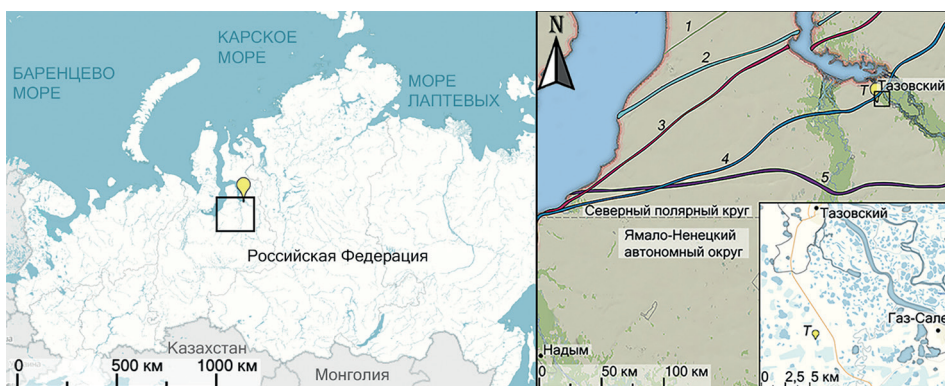


Рис. 1. Район исследования с северными границами распространения деревьев и кустарников [20].

T — место отбора колонки СКТ-15-3D; линиями показаны северные границы распространения: *Larix sibirica* Ledeb. (1), *Sorbus sibirica* Hedl. (2), *Betula pubescens* Ehrh. (3), *Picea obovata* Ledeb. (4), *Padus avium* Mill. (5)

Fig. 1. Area of research with north limits of trees and tall shrubs [20].

T — the place of column selection (СКТ-15-3D); the lines show the northern boundaries of distribution of *Larix sibirica* (1), *Sorbus sibirica* (2), *Betula pubescens* (3), *Picea obovata* (4), *Padus avium* (5)

Полигональные торфяники часто разрушаются в результате береговой абразии около озер, при этом плоские бугры нередко становятся выпуклыми [18].

Климат

По данным наблюдений ближайшей к месту исследования метеорологической станции в пос. Тазовский (67° 28' с. ш.; 78° 44' в. д.) за 1991–2021 гг. [19], средняя температура самого холодного месяца (январь) составляет –25,4 °С, самого теплого (июль) — +14,4 °С, среднегодовая температура — –6,8 °С. Среднегодовое количество осадков достигает 515 мм, самый засушливый месяц — февраль (22 мм), самый дождливый — август (71 мм).

Растительность

Согласно зональной структуре растительного покрова Западной Сибири, субарктическая часть Пур-Тазовского междуречья находится в подзоне южной тундры [1].

Южная тундра представлена зональными сообществами ерниковых и ивняковых кустарничково-зеленомошных бугорковатых и пятнисто-бугорковатых тундр, ерниковых и ивняковых кустарничково-лишайниково-зеленомошных бугорковатых тундр. На плоских слабодренлируемых участках развиты ерниковые и ивняковые, местами с ольховником травяно-кустарничково-зеленомошные заболоченные тундры. На дренированных повышенных участках распространены редко кустарниковые кустарничково-мохово-лишайниковые тундры. На склонах увалов в южной части встречаются ивняково-ерниковые с ольховником кустарничково-мохово-лишайниковые тундры, которые часто сочетаются с лиственничными редколесьями, расположенными на склонах или вершинах холмов [1]. На рис. 1 показаны северные границы распространения некоторых видов деревьев и кустарников по материалам атласа ЯНАО [20].

В регионе исследования выделяют два основных типа топяных ландшафтов [14]: осоковые топи, со стоячими водами, где сфагновые мхи и кустарнички *Ericaceae* растут только на редких кочках, и низины, заросшие сфагновыми мхами. Полигональные болота представлены сухими полигонами, растительный покров которых состоит из лишайников, сфагновых мхов, эрикоидных кустарничков и карликовых берез. Полигоны разделены трещинами, заполненными влаголюбивыми травяно-моховыми сообществами, состоящими из сфагновых мхов, осоки, пушицы и андромеды.

Пойменная растительность субарктических тундр представлена динамическими рядами разнотравно-злаковых лугов с хвощево-пушицево-злаковыми группировками на ранних стадиях развития, ивняков, кустарничково-травяно-моховых с ивой и ерником и ивняково-ерниково-ольховниковых тундр и участков осоково-гипновых болот [1].

Для зоны характерны хасыреи, представляющие собой котловины осушенных термокарстовых озер. После осушения озера вода может задерживаться во впадинах его дна, образуя небольшие неглубокие озера. Наряду с высокопродуктивными травянистыми сообществами в котловинах осушенных озер широко распространены сфагновые мхи, пушица и осока [15, 21].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Колонка СКТ-15-3D была отобрана летом 2015 г. из центра полигона, на плоскобугристом болоте в Тазовском районе, ЯНАО (см. рис. 1). Из-за присутствия мерзлоты отложения отбирались колонковым геологическим бурением, буровой установкой вращательного типа УКБ-12/25-01 (Россия, Екатеринбург, ООО «Маши-

ностроительный завод им. В.В. Воровского») со «стаканом» длиной один метр и диаметром 59 мм. Полученный при бурении керн был представлен торфом (0–340 см) и озерными отложениями (340–400). После бурения керн нарезался на образцы толщиной 2,5 см, которые упаковывались в герметичные пакеты.

Химическая обработка материала для спорово-пыльцевого анализа проводилась в лабораторных условиях по методу Эрдтмана [22] с применением ацетоллиза. Образцы колонки с глубины 320 см и ниже содержали силикаты и нуждались в дополнительной обработке плавиковой кислотой (HF). Для определения концентрации палиноморф в образцы добавляли таблетки с известным количеством спор *Lycopodium* [23].

Концентрация пыльцы на см^3 (K) подсчитывалась по формуле:

$$K = k_0 l_{mi} / l_{m0},$$

где k_0 — количество пыльцы в образце; l_{mi} — количество маркерного *Lycopodium* в таблетке; l_{m0} — количество маркерного *Lycopodium* в образце.

Определение и подсчет палиноморф в препаратах проводили с использованием светового микроскопа “Zeiss Axiolab A1” при увеличении 400× и 1000×. При определении пыльцы голосеменных и покрытосеменных растений, спор мхов и сосудистых споровых растений использовали «Определители» пыльцы и спор [24–26]. Для определения непыльцевых палиноморф (НПП) использовалась база данных НПП [27]. Подсчет палиноморф в образце производился до 500 пыльцевых зерен.

Подсчет углей производился одновременно с подсчетом палиноморф. Угли делили на 4 фракции по размеру: 10–25 мкм, 25–50 мкм, 50–100 мкм и более 100 мкм (использовался окуляр с встроенной линейкой).

Построение спорово-пыльцевой диаграммы было выполнено в программе “Tilia” [28]. При построении палинологической диаграммы данные по пыльце и спорам растений были рассчитаны в процентах от суммы всех пыльцевых зерен и спор растений. Данные о присутствии в спектрах НПП даны в абсолютных величинах. Данные о присутствии в спектрах углей показаны в виде концентрации от маркера *Lycopodium. Betula nana* L. в современной южной тундре представлена как в форме кустарника (на возвышенностях, в зарослях ольхи), так и в форме кустарничка (болота, тундра). При построении диаграммы пыльца *Betula nana* была включена в группу кустарников.

Чтобы установить возраст отложений, была проведена радиоуглеродная датировка 8 образцов. 7 датировок сделаны по торфу, 1 — по растительным остаткам. Образцы для датирования отбирались из той же колонки, что и на спорово-пыльцевой анализ. Торфяные отложения были датированы конвенционным методом в Киевской радиоуглеродной лаборатории (Украина), растительные остатки датированы методом AMS в лаборатории радиоуглеродного анализа в Познани (Польша) (табл. 1). Калибровка дат проводилась в программе “OxCal 4.4 Online” [29], даты в 95,4 % диапазоне вероятности были получены с использованием калибровочной кривой “intcal20” [30].

Глубинно-возрастная модель для колонки построена на основе радиоуглеродного датирования с применением пакета “rbacon” для R [31] и калибровочной кривой “intcal20”. При построении модели была проведена граница изменения скорости осадконакопления на уровне 35 см.

Для определения границ палинозон применялся ограниченный кластерный анализ (CONISS) [32], выполненный в программе “Tilia”, для которого были использова-

ны пыльцевые таксоны, встреченные более чем в 4 спектрах. Для пыльцевых данных колонки выделено 2 палинозоны, каждая из которых разделена на 3 подзоны (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Глубинно-возрастная модель

Глубинно-возрастная модель для колонки построена на основе 6 радиоуглеродных дат (табл. 1). Из материала, отобранного на глубинах 275–277,5 и 320–322,5 см, не удалось выделить достаточного количества углерода, датировки, полученные для этих образцов, не обладают достоверностью и в модели отмечены как «выбросы». Результаты датирования материала с глубины 7,5–10 см не позволяют точно определить возраст образца, повышенное содержание ^{14}C указывает на современный возраст образца (моложе 1950 г.).

Глубинно-возрастная модель для колонки (рис. 2) охватывает 11,2 кал. тыс. л. Результаты радиоуглеродного датирования приведены ниже (см. таблицу).

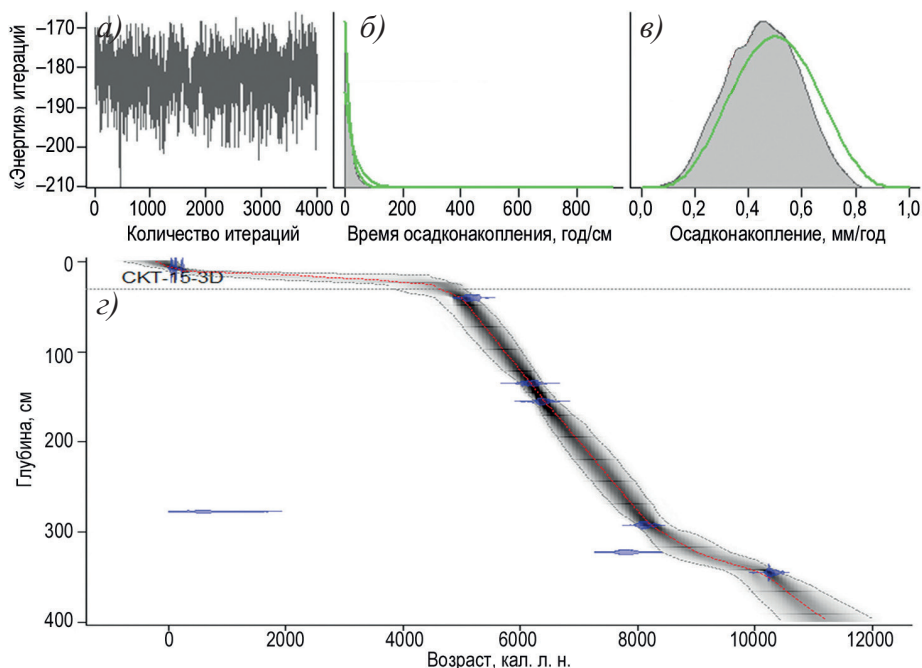


Рис. 2. Глубинно-возрастная модель для колонки SKT-15-3D:

a) — график случайности симуляции, рассчитанный моделью, где показана «энергия» или «пригодность» всех итераций МСМС (Марковская цепь Монте-Карло), выполненных в ходе построения модели; б) — график отражающий время осадконакопления (год/см), рассчитанный моделью (параметры модели: форма осадконакопления (acc. shape): 1,1; среднее значение скорости осадконакопления (acc. mean): 20, 35); в) — график зависимости скорости осадконакопления между соседними глубинами (для создания модели были использованы настройки по умолчанию, сечение модели (section) составляет 82,5 см); г) — график глубинно-возрастной модели для ядра SKT-15-3D

Fig. 2. Age-depth model for column SKT-15-3D:

a) — The simulation randomness graph calculated by the model, which shows 'fit' or 'energy' of all MCMC (Markov Chain Monte Carlo) iterations of the run.; б) — Graph reflects sedimentation time (yr/cm) calculated by the model (model settings: accumulation shape: 1,1; accumulation mean: 20, 35); в) — Graph of the dependence of accumulation rate between neighbouring depths (we used default settings in model, section 82,5 cm); г) — Age-depth model graph for column SKT-15-3D

Результаты радиоуглеродного датирования

Table

Results of radiocarbon dating

Глубина, см	Материал датирования	Лабораторный номер	Возраст ¹⁴ C (некалиброванный)	Возраст ¹⁴ C (кал. тыс. л. н., 2σ)
7,5–10	Торф	Ki-20118	104,6% ± 0,9% pMC	Современный
37,5–40	Торф	Ki-20119	4510 ± 50	5316–5031 (91,2 %)
132,5–135	Торф	Ki-20120	5410 ± 90	6353–5993 (91,9 %)
152,5–155	Торф	Ki-20121	5580 ± 90	6566–6263 (88,8 %)
275–277,5	Торф	Ki-20123	600 ± 300	877-* (95%)
290–292,5	Торф	Ki-20122	7310 ± 80	8226–7972 (83,2 %)
320–322,5	Торф	Ki-20124	6980 ± 140	8039–7572 (94,8 %)
342,5–345	Растительные остатки	Poz-83157	9100 ± 50	10409–10187 (94,7 %)

Примечание. * — невозможно определить вероятностный возрастной диапазон даты при калибровке датировки.

Note. * — it is not possible to determine the probabilistic age range of the date when calibrating the dating.

Изменение концентрации пыльцы

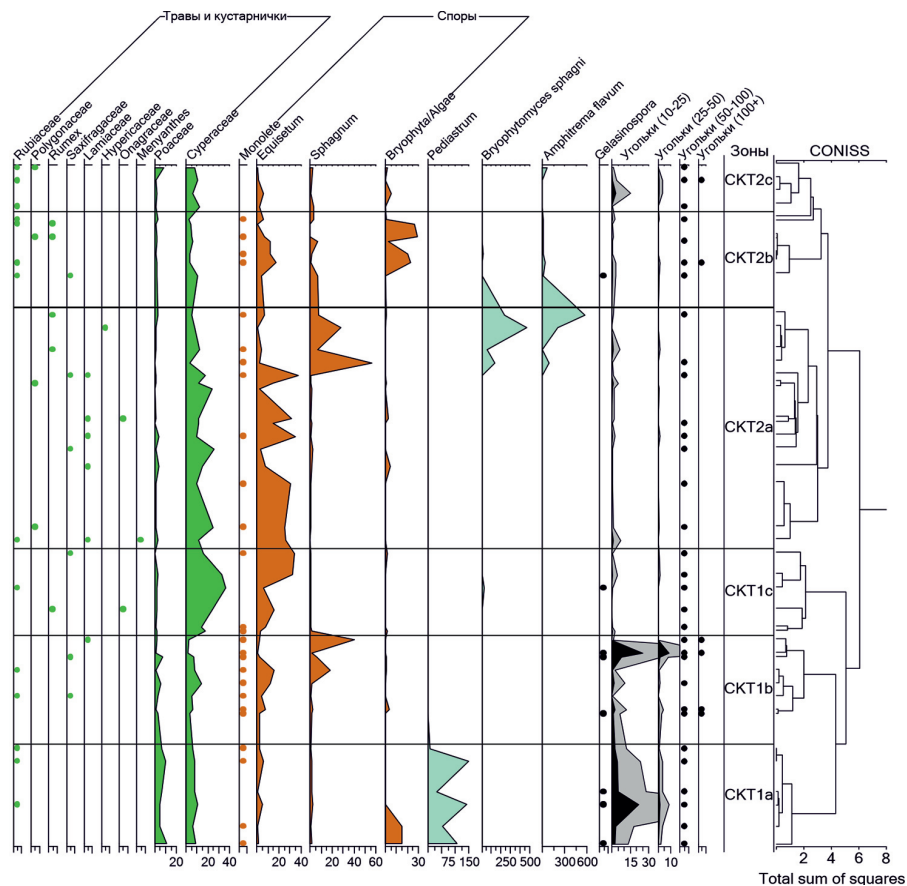
В исследованных озерных отложениях в период с 11,2 до 10 кал. тыс. л. н. (400–340 см) наблюдается увеличение концентрации пыльцы до 63–347 тыс. п. з. на см³ (тысяч пыльцевых зерен на см³). Около 10,7 кал. тыс. л. н. (375 см) наблюдается значительный всплеск концентрации пыльцы в отложениях (до 483 тыс. п. з. на см³). В образцах, относящихся к периоду 8,9–7,9 кал. тыс. л. н. (340–270 см), наблюдается относительно высокое значение концентрации пыльцы (75–374 тыс. п. з. на см³). В большинстве образцов периода 7,9–4,9 кал. тыс. л. н. (270–37,5 см) концентрация пыльцы сохраняется на низком уровне (19–84 тыс. п. з. на см³), за исключением периодов 7,4–7,1 кал. тыс. л. н. (235–200 см) и 6,4–5,7 кал. тыс. л. н. (155–100 см), во время которых концентрация пыльцы значительно увеличивается и составляет 123–322 тыс. п. з. на см³ и 115–322 тыс. п. з. на см³ соответственно. Приблизительно 4 кал. тыс. л. н. (25 см) концентрация пыльцы в отложениях значительно увеличивается и составляет 230–372 тыс. п. з. на см³. В отложениях, датированных как современные, значение концентрации составляет 10 тыс. п. з. на см³.

Спорово-пыльцевой анализ

В ходе исследования в колонке обнаружены: 31 пыльцевой таксон, 4 таксона споровых растений, 2 типа спор грибов, один вид раковинных амеб и зеленая водоросль *Pediastrum* sp. (см. рис. 3).

Описание пыльцевых зон и подзон

СКТ1а (400–340 см, 11,2–9,7 кал. тыс. л. н.). В спектрах подзоны доминирует пыльца древесных растений (35,5–67,8 %), основную долю среди которой составляет пыльца березы пушистой *Betula pubescens* (33,2–65 %). Значительно обилие пыльцы кустарников (15,8–27,7 %). Участие пыльцы трав и кустарничков составляет 13,1–22,7 % от общего спектра. Среди трав выделяется повышенное обилие пыльцы злаков Poaceae и осоковых Cyperaceae. Присутствует пыльца *Artemisia* sp. и Chenopodiaceae. Участие спор в спектрах уменьшается от 19 до 2,3 %. Среди спор



колонки CKT-15-3D
for column CKT-15-3D

отмечено присутствие *Equisetum* и *Sphagnum*, в начале периода значительно обилие спор из сводной группы Bryophyta/Algae (15 %).

СКТ1b (340–278 см, 9,7–8 кал. тыс. л. н.). В спектрах подзоны участие пыльцы древесных растений снижается, составляя от 30,1 до 48,1 %. Заметно снижается обилие пыльцы березы пушистой. Обилие *Picea obovata* увеличивается (2–12%). Доля пыльцы кустарников увеличивается (22,3–50 %). Среди них доминирует *Betula nana*, обилие других кустарников снижается. Травы составляют 5,7–29,7 % от пыльцевого спектра, наиболее значительно участие Poaceae, Cyperaceae, группы *Potentilla*, Scrophulariaceae и порядка Ericales таксонов. Участие спор увеличивается (2,2–42,9 %), наиболее значительно участие *Equisetum* sp. и *Sphagnum* sp.

СКТ1с (278–228 см, 8–7,3 кал. тыс. л. н.). Обилие пыльцы *Betula nana* и *Salix* sp. в спектрах значительно снижается, общее обилие пыльцы кустарников составляет 3,2–18,3 %. В большинстве спектров подзоны доминирует пыльца трав (26,9–56,2 %). В их составе наиболее значительно участие пыльцы Cyperaceae (13,7–36,1 %), Scrophulariaceae (0,9–6,4 %) и группы *Potentilla* (0,3–20,5 %). Значительно увеличивается обилие спор *Equisetum* sp., участие *Sphagnum* sp. уменьшается.

СКТ2а (228–90 см, 7,3–5,5 кал. тыс. л. н.). Общее обилие пыльцы древесных увеличивается (25–61,1 %), доминирует *Betula pendula*-type (8,3–49,1 %), увеличивается участие *Picea obovata* (0,7–24,9 %). Возрастает доля пыльцы кустарников (8,3–31,7 %), среди которых вновь доминирует *Betula nana* (6,8–28,8 %). Доля трав составляет 4,8–32,1 %, уменьшаясь к концу периода. Значительно участие спор (3,9–58,4 %), среди них наибольшее обилие имеют *Equisetum* sp. и *Sphagnum* sp.

СКТ2b (90–35 см, 5,5–4,7 кал. тыс. л. н.). Для этой зоны отмечено наибольшее участие пыльцы голосеменных (3,2–56,2 %), доля *Picea obovata* составляет 1,5–24,9 %. Увеличивается участие *Betula nana* (9,5–20,2 %). Доля трав уменьшается, составляя 6,8–16,8 % от общего спектра. В группе спор значительно увеличивается участие Bryophyta/Algae (0–28,8 %), участие прочих таксонов группы снижается.

СКТ2с (35–0 см, 4,7 кал. тыс. л. н. — современность). В группе древесных доминирует *Betula pendula*-type (15,2–39,3 %), участие *Picea obovata* (10,3–0,6 %) значительно уменьшается. Значительно участие кустарников (24,5–35,6 %), увеличивается обилие всех таксонов, составляющих группу. Доля кустарничков и трав увеличивается (10,4–27,7 %), среди них наибольшее обилие имеют Cyperaceae (5,7–12 %) и Poaceae (1,2–8,6 %), увеличивается доля порядка Ericales (0–4,4 %) и *Rubus chamaemorus* L. (0–2,9 %). Участие группы спор значительно уменьшается (2,7–11,5 %).

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ДИСКУССИЯ

Реконструкция изменений локальной растительности

В период 11,2–10,2 кал. тыс. л. н. на месте отбора колонки СКТ-15-3D существовало озеро, о чем свидетельствует значительное количество водорослей Algae, *Pediastrum* sp., микрогольков и минеральная природа отложений. Вероятно, в этот период на границе палеоводоёма происходил процесс заболачивания, о чем косвенно свидетельствует участие в спектрах этого периода пыльцы группы *Potentilla* (вероятно, *Comarum palustre* L.) и *Equisetum* sp. Отложения периода 10,2–8 кал. тыс. л. н. представлены озерными осадками (340–350 см) и торфом (278–340 см). В этот период озеро сменилось эвтрофным болотом, что подтверждается изменением локального фитоценоза, в котором увеличилось участие зеленых и сфагновых мхов, растений группы *Potentilla*, хвощей и осоковых. Вероятно, уровень воды в формирующемся

болоте периодически повышался (в спектрах отмечались фрагменты водоросли *Pediastrum* sp.).

В период 8–7,4 кал. тыс. л. н. болото перешло из эвтрофной стадии в мезотрофную. Об этом свидетельствует значительное увеличение участия хвощей, осок, растений группы *Potentilla* и видов семейства Scrophulariaceae в локальном фитоценозе. В период 7,4–6,7 кал. тыс. л. н. в зоне отбора колонки локально существовало мезотрофное болото, в растительности доминировали хвощи, осоки, зонтичные, растения группы *Potentilla*, появилась вахта.

Мезотрофное болото сменилось олиготрофным в период 6,7–6 кал. тыс. л. н., о чем свидетельствует снижение обилия осок, растений группы *Potentilla* и увеличение участия видов порядка Ericales и *Rubus chamaemorus*. Примерно 6 кал. тыс. л. н. завершился переход болота в олиготрофную стадию, что проявилось в значительном увеличении роли сфагновых мхов, а также резко увеличившемся обилии спор гриба *Bryophytomyces sphagni* и раковин амебы *Amphitrema flavum*. Последние растительные сообщества сменились 5,4 кал. тыс. л. н. зелеными мхами, вероятно топяными, что косвенно подтверждается увеличением обилия хвощей. В период 5,2–1 кал. тыс. л. н. доминирующие виды в моховом покрове менялись несколько раз, окончательно сменившись сфагновыми мхами к настоящему времени.

Реконструкция изменений растительного покрова региона

11,2 кал. тыс. л. н. растительность региона была представлена редколесьями из березы пушистой и лиственницы в зарослях кустарников (*Alnus* sp., *Betula nana*) и лугами с участием злаков, лютиковых, норичниковых, маревых, розоцветных, гвоздичных, полыни и других сложноцветных. Из высших споровых растений отмечено присутствие хвощей, папоротников, сфагновых и зеленых мхов.

В период 9–8 кал. тыс. л. н. уменьшилось участие *Betula pubescens* в древесном ярусе, появились единичные деревья *Picea obovata*. В растительном покрове увеличилась доля *Betula nana*, участие прочих кустарников уменьшилось. В травяно-кустарничковом ярусе увеличилось участие болотных и влаголюбивых растений (осоковых, хвощей, розоцветных, вересковых, сфагновых мхов). На лугах появились яснотковые и камнеломковые, в то время как обилие злаков и сложноцветных уменьшилось. Примечательным является резкий всплеск обилия пыльцы карликовой березки и микрогольков на глубине около 280 см, после которого немедленно последовал максимум обилия спор сфагнума. Вероятно, глобальное похолодание 8,2 кал. тыс. л. н. вызвало промерзание и выпучивание ранее талого топяного болота и поселение на мерзлом бугре карликовой березки и сфагновых мхов.

8–7,4 кал. тыс. л. н. увеличилось участие *Betula pubescens*, участие кустарников *Salix* sp. и *Betula nana* в растительном покрове минимально. Возросло обилие трав, большее распространение получают луга. Вероятно, в этот период климат стал мягче, и мерзлое болото вернулось в талое состояние с доминированием топяных осок и зарослей *Comarum palustre*.

В период 7,4–5,7 кал. тыс. л. н. в древесном ярусе увеличилось участие ели, возросло обилие кустарников и таксономическое разнообразие травяно-кустарничкового яруса.

5,7–5 кал. тыс. л. н. в древесном ярусе растительных сообществ резко уменьшилось участие березы и возросло обилие *Picea obovata*. Примерно 5,5–5,4 кал. тыс. л. н. ель имела максимальное распространение в районе исследования, вероятно маркируя голоценовый оптимум. Это сопровождалось увеличением участия кедра и сосны

в южнее расположенных лесах. Об участии последних пород в лесах, окружающих болото, мы не можем говорить, поскольку обилие пыльцы сосны менее 20 % говорит о ее дальнем заносе. После этого участие ели в растительном покрове начинает прогрессивно сокращаться. В кустарниковом ярусе увеличилось участие *Betula nana*. В травяно-кустарничковом ярусе уменьшилось таксономическое разнообразие, обилие розоцветных, норичниковых, зонтичных и осоковых, увеличилось обилие злаков.

Период с 4,7 кал. тыс. л. н. до современности в древесном ярусе встречаются единичные березы и лиственницы в окружении крупных кустарников, ель покинула район исследования. Травяно-кустарничковый ярус стал сходен с современными сообществами южной тундры.

Концентрация пыльцы и скорость осадконакопления

Концентрация пыльцы в отложениях может меняться как в результате изменения биопродуктивности растительного покрова, так и в результате изменения скорости осадконакопления. В последнем случае при очень низкой скорости осадконакопления время экспонирования поверхности торфяника увеличивается и концентрация пыльцы в стандартном объеме осадка тоже увеличивается, поскольку она накапливается за большее число лет.

В болотах более южной, таежной зоны скорость аккумуляции торфа можно рассчитать, разделив мощность отложенного торфа на число лет, за которое эта толща торфа накопилась [33]. Но в зоне мерзлых плоскобугристых и крупнобугристых болот наличие мерзлотного пучения может исказить картину скорости торфонакопления, поэтому при оценке скорости торфонакопления мы опираемся на концентрацию пыльцы. При мерзлотном пучении поверхность болота поднимается, замедляется и прекращается торфонакопление (на стадии распространения лишайникового покрова). В результате поверхность мерзлого бугра дольше экспонируется и накапливает больше пыльцы, что вызывает увеличение концентрации пыльцы в отложениях. Таким образом, похолодание климата и мерзлотное пучение вызывают снижение скорости торфонакопления, но увеличивают концентрацию пыльцы. Однако эта зависимость не может распространяться на озерные отложения. Поэтому увеличение концентрации пыльцы в озерных отложениях свидетельствует о потеплении климата и увеличении биологической продуктивности ландшафта, а не о похолодании.

В исследованных озерных отложениях в период с 11,2 до 10 кал. тыс. л. н. наблюдается увеличение концентрации пыльцы. В озерных и в начале торфяных отложений (11,2–8,9 кал. тыс. л. н., 400–320 см) пиковые значения увеличения концентрации пыльцы совпадают с увеличением присутствия пыльцы древесных видов (*Betula pubescens* и *Picea obovata*) в спектрах этого периода.

В начальный период торфонакопления 8,9–7,9 тыс. кал. л. н. (325–270 см) наблюдается высокое значение концентрации пыльцы относительно последующих периодов, возможно, в этот период скорость накопления торфа была довольно низкой. Больше участие пыльцы *Picea obovata* и периодическое появление в отложениях этого периода фрагментов водоросли *Pediastrum* sp., вероятно, свидетельствуют о том, что периодическое повышение уровня воды в формирующемся болоте послужило дополнительным фактором, увеличившим пыльцевую концентрацию в отложениях этого периода за счет обогащения спектров пыльцой, переносимой поверхностными водами. О значительном повышении влажности и потеплении климата

может свидетельствовать начало распространения ели в растительном покрове и сокращение площадей открытых лугов в этот период.

В период 7,9–6,4 тыс. кал. л. н. (270–155 см) концентрация пыльцы сохраняется на относительно низком уровне, за исключением периода 7,4–7,1 тыс. кал. л. н., когда концентрация пыльцы скачкообразно увеличивается. 6,4–5,7 тыс. кал. л. н. (155–90 см) наблюдается новое увеличение концентрации пыльцы, что свидетельствует о замедлении скорости осадконакопления.

В период 5,7–4,9 (90–35 см) тыс. кал. л. н. наблюдается минимальная концентрация пыльцы, что свидетельствует о наибольшей скорости накопления торфа за исследованный период. Именно на этот период приходится голоценовый оптимум в районе исследования.

4 тыс. кал. л. н. наблюдается резкое увеличение концентрации пыльцы, что свидетельствует о значительном замедлении скорости осадконакопления. Резкое замедление скорости торфонакопления 8,2, 6 и 4 тыс. кал. л. н. могло быть вызвано мерзлотным пучением, периодически происходившим на талом топяном болоте. Это предположение подтверждается максимумами пыльцы и спор растений, произрастающих на мерзлых буграх *Betula nana*, *Sphagnum*, *Ericaceae*. Последний период промерзания 4 тыс. кал. л. н. стал окончательным, после него болото не вернулось в талое состояние.

Реконструкция истории пожаров в регионе

В большинстве образцов, соответствующих периоду 11,2–8 кал. тыс. л. н., наблюдается значительная концентрация угольков (за исключением спектров, соответствующих возрасту 8,7 кал. тыс. л. н. и 8,3 кал. тыс. л. н.). Максимальная концентрация угольков отмечена 11,2 кал. тыс. л. н. и 8,2 кал. тыс. л. н. Вероятно, в эти периоды, произошли наиболее масштабные пожары. Наличие спор гриба *Gelasinospora* sp. в спектрах, соответствующих возрасту 11,2 кал. тыс. л. н., 10,7 кал. тыс. л. н., 10,5 кал. тыс. л. н., 9 кал. тыс. л. н., 8,2 кал. тыс. л. н. и 8,1 кал. тыс. л. н., свидетельствует о локальном характере пожаров, произошедших в периоды, соответствующие этим образцам. Угли, отмеченные в других спектрах этого периода, вероятно, отражают региональные пожары.

Во всех образцах периода 8–4,7 кал. тыс. л. н. отмечено присутствие угольков. За этот период зафиксировано 2 локальных пожара, произошедших 7,6 кал. тыс. л. н. и 5,4 кал. тыс. л. н., о чем свидетельствует наличие спор гриба *Gelasinospora* sp. в образцах, соответствующих этим периодам. Концентрация угольков в образцах возрастом 7,5 кал. тыс. л. н., 6,9 кал. тыс. л. н., 6,5 кал. тыс. л. н., 5,3 кал. тыс. л. н., 5 кал. тыс. л. н., 4,9 кал. тыс. л. н., 4,7 кал. тыс. л. н. позволяет предположить региональный характер пожаров. Концентрация углей в остальных спектрах этого периода довольно мала, что, вероятно, свидетельствует о пожарах, произошедших за пределами региона.

В период с 4,7 кал. тыс. л. н. до современности отмечено значительное участие микроуглей, что, вероятно, связано с низкой скоростью накопления торфа.

Обсуждение

Результаты радиоуглеродного датирования показали, что примерно 4,7 кал. тыс. л. н. скорость торфонакопления значительно снизилась, торфяная залежь в диапазоне 40–10 см образовалась за последние 5000 лет. Замедление торфонакопления в результате похолодания было выявлено и в других работах в пределах Ямало-Гыданской провинции и Пур-Тазовского междуречья, в частности [7, 8, 9].

По данным колонки СКТ-15-3D древесный ярус сообществ 11,2–10 кал. тыс. л. н. был представлен редколесьями или отдельными группами деревьев (береза и лиственница), что согласуется с данными по Пур-Тазовскому междуречью, полуостровам Гыданский, Таймырский и Ямал [5, 8]. Анализ ботанических макроостатков в 85 км на юго-востоке [8] показал, что первое присутствие остатков ели в отложениях зафиксировано приблизительно 9 кал. тыс. л. н. Для южного Ямала [5] первая встреча ели отмечена несколько позже (8,1 кал. тыс. л. н.). По данным торфяника в 8 км на востоко-юго-восток [9] от места бурения колонки СКТ-15-3D, ель произрастала в регионе уже в период 9,6–9,3 кал. тыс. л. н. Результаты исследования колонки СКТ-15-3D указывают на то, что ель на севере Пур-Тазовского междуречья в период 9–8 кал. тыс. л. н. была представлена единичными деревьями либо произрастала в непосредственной близости от реки Таз, последнее можно предположить по данным торфяника «TZ» [9]. По результатам нашего исследования более значительное распространение ели на территории субарктической части Пур-Тазовского междуречья наблюдалось в период 7,4–4,7 кал. тыс. л. н. с максимумом участия 5,4 кал. тыс. л. н. На юге Ямала макроостатки ели пропадают из отложений около 6,4 кал. тыс. л. н., обилие пыльцы ели в спектрах этого периода также значительно уменьшается [5]. Исчезновение макроостатков ели в отложениях Пур-Тазовского междуречья [8] отмечено примерно 5,8 кал. тыс. л. н. Как литературные данные по району исследования [8, 9], так и материалы колонки СКТ-15-3D свидетельствуют, что ель покинула регион примерно 4,8–4,7 кал. тыс. л. н.

Развитие исследованного болота несколько отличалось от болот, исследованных ранее в регионе. Реконструированный в период 10,2–6,7 кал. тыс. л. н. болотный фитоценоз, вероятно, был похож на современный хасырей. В растительном сообществе одновременно присутствовали осоки, хвощи, сфагновые мхи и травяные влаголюбивые компоненты — зонтичные, норичниковые (вероятно, мытник), розоцветные, а также значительное, в сравнении с торфяником «TZ» [9], участие ив. Переход исследованного болота от мезотрофной стадии в олиготрофную произошел около 6 кал. тыс. л. н., в торфянике «РТ» [8] — приблизительно 5,4 кал. тыс. л. н., в торфянике «TZ» [9] — в последние 2,5 кал. тыс. л. н.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные палеопалинологические исследования позволили реконструировать динамику растительного покрова арктической части Пур-Тазовского междуречья и выявили несколько стадий в развитии озерно-болотного биоценоза с раннего голоцена до современности, происходивших на фоне изменений климата и пожарной активности.

1. За исследуемый период локальный водно-болотный биогеоценоз в месте исследования прошел несколько стадий развития. В начале палеоэкологической записи (11,2 кал. тыс. л. н.) в месте отбора колонки существовало озеро, в период 10–8 кал. тыс. л. н. сменившееся эвтрофным болотом, вероятно типа хасырея, постепенно перешедшим 8–7,4 кал. тыс. л. н. в мезотрофную стадию, в которой оно существовало на протяжении 7,4–6,7 кал. тыс. л. н. На этой стадии происходило неоднократное чередование зеленомошно-сфагново-кустарничковых сообществ и болотно-травно-мохово-осоковых сообществ. После 6 кал. тыс. л. н. болото перешло в олиготрофную стадию. Около 4 кал. тыс. л. н. произошло промерзание болта и сформировался мерзлый бугор.

2. Растительный покров района исследования в целом с раннего голоцена до современности претерпел следующие изменения. Начиная с 11,2 кал. тыс. л. н. растительность региона была представлена редколесьями из березы и лиственницы с зарослями кустарников и лугами. В период 9,5–8 кал. тыс. л. н. в растительном покрове увеличивается участие кустарников, кустарничков, трав и хвощей, участие *Betula pubescens* в древесном ярусе уменьшается, появляются единичные деревья *Picea obovata*. В период 8–7,4 кал. тыс. л. н. доминируют травы, увеличивается участие *Betula pubescens*, участие кустарников в растительном покрове минимально. В период 7,4–6,1 кал. тыс. л. н. увеличивается обилие кустарников и таксономическое разнообразие травяно-кустарничкового яруса. В период 7,2–4,7 кал. тыс. л. н. наблюдалось наибольшее участие ели в древесном ярусе сообществ. В период 5,5–4,7 кал. тыс. л. н. в древесном ярусе сообществ зоны резко уменьшается участие березы, увеличивается участие ели и кустарников, главным образом *Betula nana*, таксономическое разнообразие травяно-кустарничкового яруса уменьшается, формируются сходные с современными тундровые сообщества. Вероятно, около 4,7 кал. тыс. л. н. ель в районе исследования уже не произрастала. В период 4,7–1 кал. тыс. л. н. в древесном ярусе наблюдались единичные березы и лиственницы в окружении крупных кустарников, травяно-кустарничковый ярус стал сходен с современными сообществами южной тундры.

3. Максимумы концентрации пыльцы 8,2, 6 и 4 кал. тыс. л. н. в разрезе, вероятно, отражают замедление осадконакопления в результате похолодания, что подтверждается увеличением обилия локальных компонентов спектра, отражающих мерзлотное пучение (*Betula nana*, *Sphagnum* sp., *Ericales*, *Bryophytomyces sphagni*, *Amphitrema flavum*). Но увеличение концентрации пыльцы 10,7, 9 и 7,3 кал. тыс. л. н. является следствием повышения биопродуктивности растительного покрова в результате потепления, что подтверждается увеличением в спектре пыльцы ели и отсутствием индикаторов мерзлотного пучения. Минимальная концентрация пыльцы наблюдается 5,7–4,9 кал. тыс. л. н., что свидетельствует о наибольшей скорости накопления торфа за исследованный период (проявление голоценового оптимума в районе исследования).

4. Наиболее существенное влияние на растительность региона оказали пожары, произошедшие 11,2 кал. тыс. л. н. и 8,1 кал. тыс. л. н. Пожары, зафиксированные 11,2 кал. тыс. л. н., 10,9 кал. тыс. л. н., 10,7 кал. тыс. л. н., 10,2 кал. тыс. л. н., 8,5 кал. тыс. л. н., 7,5 кал. тыс. л. н. и 5,4 кал. тыс. л. н., имели локальный характер и не оказали существенного влияния на растительность региона. Наименьшая пожарная активность в регионе отмечена в период 7,5–5,4 кал. тыс. л. н.

Конфликт интересов. Отсутствует.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФ, проект № 23-27-00217 (Т.А. Бляхарчук) и программы развития Томского государственного университета «Приоритет-2030» (И.И. Гуреева, Н.В. Шефер).

Благодарности. Авторы признательны А. А. Кузнецову (Томский государственный университет) за помощь в организации экспедиций в Ямало-Ненецкий автономный округ. Авторы благодарны анонимным рецензентам за внимание к рукописи и замечания.

Competing interests. Authors have no competing interests.

Funding. This work was carried out with the financial support of the RSF, project № 23-27-00217 (Т.А. Blyakharchuk,) and Tomsk State University Development Programme “Priority-2030” (I.I. Gureyeva, N.V. Shefer).

Acknowledgments. The authors are grateful to A. A. Kuznetsov for the organizing of expeditions in Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. The authors are grateful to anonymous reviewers for their attention and comments.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильина И.С., Лапина Е.И., Лавренко Н.Н., Мельцер Л.И., Романова Е.А., Богоявленский Б.А., Махно В.Д. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 251 с.
2. Бляхарчук Т.А., Курьина И.В., Пологова Н.Н. Позднеголоценовая динамика растительного покрова и увлажненности климата Юго-восточного сектора Западно-Сибирской равнины по данным палинологического и ризоподного исследования торфяных отложений // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 45. С. 164–189.
3. Andreev A.A., Klimanov V.A., Sulerzhitsky L.D. Vegetation and climate history of the Yana River lowland, Russia, during the last 6400 yr // Quaternary Science Reviews. 2001. V. 20. P. 259–266.
4. Andreev A.A., Siegert C., Klimanov V.A., Derevyagin A.Y., Shilova G.N., Melles M. Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate on the Taymyr Lowland, Northern Siberia // Quat. Res. 2002. V. 57. P. 138–150.
5. Панова Н.К., Трофимова С.С., Антипина Т.Г., Зиновьев Е.В., Гилев А.В., Ерохин Н.Г. Динамика растительности и экологических условий в голоцене на Южном Ямале (по данным комплексного анализа отложений реликтового торфяника) // Экология. 2010. № 1. С. 22–30.
6. Velichko A.A., Andreev A.A., Klimanov V.A. Climate and vegetation dynamics in the tundra and forest zone during the Late Glacial and Holocene // Quaternary International. 1997. V. 41/42. P. 71–96.
7. Фомиев С. М. Арктические торфяники Ямало-Гыданской провинции Западной Сибири // Криосфера земли. 2017. Т. 21. № 5. С. 3–15.
8. Peteet D., Andreev A., Bardeen W., Mistretta F. Long-term Arctic peatland dynamics, vegetation and climate history of the Pur-Taz region, Western Siberia // Boreas. 1998. V. 27. P. 115–126.
9. Pastukhov A., Marchenko-Vagapova T., Loiko S., Kaverin D. Vulnerability of the ancient peat plateaus in Western Siberia // Plants. 2021. V. 10. Issue 12. P. 2813.
10. Andreev A., Klimanov V. Quantitative Holocene climatic reconstruction from Arctic Russia // Journal of Paleolimnology. 2000. V. 24. P. 81–91.
11. Слагода Е.А., Новосёлов А.А., Королева Е.С., Кузнецова А.О., Бутаков В.И., Тихонравова Я.В., Завовская Э.П. Следы криогенных процессов в позднеоплейстоценовых отложениях Пур-Тазовского междуречья Западной Сибири // Криосфера Земли. 2022. Т. 26. № 1. С. 21–35.
12. Loiko S., Klimova N., Kuzmina D., Pokrovsky O. Lake drainage in permafrost regions produces variable plant communities of high biomass and productivity // Plants. 2020. V. 9. Issue 7. P. 867.
13. Лазуков Г.И. Геоморфологическое районирование севера Западно-Сибирской равнины // Природные условия западной Сибири. 1975. Вып. 5. С. 20–37.
14. Zarov E.A., Golubyatnikov L.L., Lapshina E.D., Loyko S.V. Vegetation and soils of tundra landscapes in the Pur-Taz interfluvial region // Biol. Bull. Russ. Acad. Sci. 2021. V. 48. P. 118–127.
15. Khitun O., Rebristaya O. Anthropogenic impacts on habitat structure and species richness in the west Siberian Arctic. Wilderness in the Circumpolar North: searching for compatibility in ecological, traditional, and ecotourism values. Ogden: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2002. P. 85–95.

16. Шполянская Н. А. Основные закономерности распространения вечной мерзлоты Западной Сибири и этапы ее развития // Природные условия западной Сибири. 1971. Вып. 1. С. 102–123.
17. Бабкин Е.М., Бабкина Е.А., Лейбман М.О., Хайруллин Р.Р., Хомутов А.В. Мониторинг изменений рельефа полигональных торфяников, примыкающих к автодороге Заполярное — Тазовский // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68. № 4. С. 384–405. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-4-384-405>.
18. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слуга З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
19. Архив климатических данных. URL: <https://ru.climate-data.org>. (дата обращения: 23.02.2023).
20. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. 303 с.
21. Лойко С.В., Кузьмина Д.М., Климова Н.В. Ландшафтная характеристика осушенных термокарстовых озер южной тундры Западной Сибири // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2018. Вып. 4. № 101. С. 13–17.
22. Erdtman G. An Introduction to pollen analysis. Waltham: Chronica Botanica, 1943. 239 p.
23. Stockmarr J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis // Pollen et Spores. 1971. V. 13. P. 615–621.
24. Куприянова Л.В., Алёшина Л.А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1972. 171 с.
25. Куприянова Л.В., Алёшина Л.А. Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. *Lamiaceae-Zygophyllaceae*. Л.: Наука, 1978. 184 с.
26. Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф. Споры папоротникообразных и пыльцы голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1983. 208 с.
27. Non-Pollen Palynomorph Image Database. URL: <https://non-pollen-palynomorphs.uni-goettingen.de/> (дата обращения: 06.03.2023).
28. Grimm E.C. Tilia and tiliagraph. Springfield: Illinois State Museum, 1991. 101. p.
29. OxCal online 4.4.4. URL: <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html#> (дата обращения: 06.03.2023).
30. Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S.M., FogtmannSchulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 calkBP) // Radiocarbon. 2020. V. 62. P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.
31. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Anal. 2011. V. 6. P. 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-ba618>.
32. Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares // Computers & Geosciences. 1987. V. 13. Issue 1. P. 13–35.
33. Lapshina E.D., Pologova N.N., Mouldiyarov E.Ya. Patter of development and carbon accumulation in homogenous sphagnum fuscum-peat deposit on the south of West Siberia // West Siberian Peatlands and carbon Cycle: past and present. Новосибирск: ООО «Агентство Сиб-принт», 2001. P. 101–104.

REFERENCES

1. Il'ina I.S., Lapshina E.I., Lavrenko N.N., Mel'tser L.I., Romanova E.A., Bogoiavlenskii B.A., Makhno V.D. *Rastitel'nyi pokrov Zapadno-Sibirskoi ravniny*. Vegetation cover of the West Siberian Plain. Novosibirsk: Nauka, 1985: 251 p. [In Russian].
2. Bliakharchuk T.A., Kur'ina I.V., Pologova N.N. Late-Holocene dynamics of vegetation cover and humidity of climate in the southeastern sector of the West Siberian Plain according to the data of palynological and rhizopod research of peat deposits. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. Tomsk State University Journal of Biology. 2019, 45: 164–189. [In Russian]. <https://doi.org/10.17223/19988591/45/9>.
3. Andreev A.A., Klimanov V.A., Sulerzhitsky L.D. Vegetation and climate history of the Yana River lowland, Russia, during the last 6400 yr. *Quaternary Science Reviews*. 2001, 20: 259–266.
4. Andreev A.A., Siegert C., Klimanov V.A., Derevyagin A.Y., Shilova G.N., Melles M. Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate on the Taymyr Lowland, Northern Siberia. *Quat. Res.* 2002, 57: 138–150.
5. Panova N.K., Trofimova S.S., Antipina T.G., Zinov'ev E.V., Gilev A.V., Erokhin N.G. Dynamics of vegetation and ecological conditions in the Holocene in the South Yamal (according to the complex analysis of deposits of the relict peat bog). *Ekologiya*. Ecology. 2010, 1: 22–30. [In Russian].
6. Velichko A.A., Andreev A.A., Klimanov V.A. Climate and vegetation dynamics in the tundra and forest zone during the Late Glacial and Holocene. *Quaternary International*. 1997, 41/42: 71–96.
7. Fotiev S.M. Arctic peatlands of the Yamal-Gydan province of Western Siberia. *Kriosfera Zemli*. Earth's Cryosphere. 2017, 21 (5): 3–15. [In Russian].
8. Peteet D., Andreev A., Bardeen W., Mistretta F. Long-term Arctic peatland dynamics, vegetation and climate history of the Pur-Taz region, Western Siberia. *Boreas*. 1998, 27: 115–126. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1998.tb00872.x>.
9. Pastukhov A., Marchenko-Vagapova T., Loiko S., Kaverin D. Vulnerability of the ancient peat plateaus in Western Siberia. *Plants*. 2021, 10 (12): 2813.
10. Andreev A., Klimanov V. Quantitative Holocene climatic reconstruction from Arctic Russia. *Journal of Paleolimnology*. 2000, 24: 81–91. <https://doi.org/10.1023/A:1008121917521>.
11. Slogoda E.A., Novoselov A.A., Koroleva E.S., Kuznetsova A.O., Butakov V.I., Tikhonravova Ia.V., Zazovskaia E.P. Traces of cryogenic processes in the Late Pleistocene sediments of the Pur-Taz interfluvium (West Siberia). *Kriosfera Zemli*. Earth's Cryosphere. 2022, 26 (1): 21–35. [In Russian].
12. Loiko S., Klimova N., Kuzmina D., Pokrovsky O. Lake drainage in permafrost regions produces variable plant communities of high biomass and productivity. *Plants*. 2020, 9 (7): 867.
13. Lazukov G.I. Geomorphological zoning of the North of the West Siberian Plain. *Prirodnye usloviia zapadnoi Sibiri*. Natural conditions of Western Siberia. 1975, 5: 20–37. [In Russian].
14. Zarov E.A., Golubyatnikov L.L., Lapshina E.D., Loyko S.V. Vegetation and soils of tundra landscapes in the Pur-Taz interfluvial region. *Biol. Bull. Russ. Acad. Sci.* 2021, 48: 118–127. <https://doi.org/10.1134/S1062359022010186>.
15. Khitun O., Rebristaya O. Anthropogenic impacts on habitat structure and species richness in the west Siberian Arctic. *Wilderness in the Circumpolar North: searching for compatibility in ecological, traditional, and ecotourism values*. Ogden: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2002: 85–95.
16. Shpolianskaia N.A. The main regularities of the distribution of permafrost in Western Siberia and the stages of its development. *Prirodnye usloviia zapadnoi Sibiri*. Natural conditions of Western Siberia. 1971, 1: 102–123. [In Russian].
17. Babkin E.M., Babkina E.A., Leibman M.O., Khairullin R.R., Khomutov A.V. Monitoring of the relief changes in polygonal peat plateaus adjacent to the highway Zapolyarnoe — Tazovskiy.

Problemy Arktiki i Antarktiki. Arctic and Antarctic Research. 2022, 68 (4): 384–405. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-4-384-405>. [In Russian].

18. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka S.A., Tolpyshcheva T.Iu., Shvedchikova N.K. *Bolotnye sistemy Zapadnoi Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie*. Bog systems of Western Siberia and their environmental significance. Tula, Grif i K^o, 2001: 584 p. [In Russian].

19. Climate Data Archive. Available at: <https://ru.climate-data.org>. (accessed 23.02.2023).

20. *Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*. Atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Omsk: Federal State Unitary Enterprise “Omsk Cartographic Factory”, 2004: 303 p. [In Russian].

21. Loiko S.V., Kuz'mina D.M., Klimova N.V. Landscape characteristics of drained thermokarst lakes in the southern tundra of Western Siberia. *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*. Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. 2018, 4 (101): 13–17. [In Russian].

22. Erdtman G. An introduction to pollen analysis. Waltham: Chronica Botanica, 1943: 239 p.

23. Stockmarr J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*. 1971, 13: 615–621.

24. Kupriianova L.V., Aleshina L.A. *Pyl'tsa i spory rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR*. Pollen and spores of flora of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka, 1972: 171 p. [In Russian].

25. Kupriianova L.V., Aleshina L.A. *Pyl'tsa dvudol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR. Lamiaceae-Zygophyllaceae*. Pollen of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR. *Lamiaceae-Zygophyllaceae*. Leningrad: Nauka, 1978: 184 p. [In Russian].

26. Bobrov A.E., Kupriianova L.A., Litvintseva M.V., Tarasevich V.F. *Spory paporotnikoobraznykh i pyl'tsy golosemennykh i odnodol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR*. Spores of ferns and pollen of gymnosperms and monocots of the flora of the European part of the USSR. Leningrad: Nauka, 1983: 208 p. [In Russian].

27. Non-Pollen Palynomorph Image Database. Available at: <https://non-pollen-palynomorphs.uni-goettingen.de/> (accessed 06.03.2023).

28. Grimm E.C. *Tilia and tiliagraph*. Springfield: Illinois State Museum, 1991: 101. p.

29. OxCal online 4.4.4. Available at: <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html#> (accessed 06.03.2023).

30. Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S.M., FogtmannSchulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 calkBP). *Radiocarbon*. 2020, 62: 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.

31. Blaauw M., Christen J.A. Flexible Paleoclimate age-depth models using an Autoregressive Gamma Process. *Bayesian Anal.* 2011, 6: 457–474. <https://doi.org/10.1214/11-ba618>.

32. Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*. 1987, 13 (1): 13–35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7).

33. Lapshina E.D., Pologova N.N., Mouldiyarov E. Ya. Pattern of development and carbon accumulation in homogenous sphagnum fuscum-peat deposit on the south of West Siberia. West Siberian Peatlands and carbon Cycle: past and present. Proceedings of the International Field Symposium. Novosibirsk: “Agentstvo Sibprint”, 2001: 101–104.