

М.А. ПУПЫШЕВА\*, Т.А. БЛЯХАРЧУК\*, \*\*

\*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
643055, Томск, пр. Академический, 10/3, Россия, 455207@mail.ru, blyakharchuk@mail.ru

\*\*Томский государственный университет,  
634050, Томск, пр. Ленина, 36, Россия, blyakharchuk@mail.ru

## ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВАЯ ДИНАМИКА ПОЖАРОВ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ НИКОЛАЕВСКОГО РЯМА)

Представлены результаты реконструкции долговременной динамики палеопожаров в лесостепной зоне Западной Сибири (Новосибирская область) на примере торфяной колонки Николаевского ряма. Согласно данным радиоуглеродного датирования, исследованная толща торфа формировалась в течение 3200 кал. лет — с позднего суб boreала до современности. На основе проведенного макроуголькового и радиоуглеродного анализа выявлен 21 локальный пожарный эпизод, а также определено время их возникновения, периодичность и интенсивность. Данные по динамике палеопожаров лесостепного ряма были сопоставлены с опубликованными палеоклиматическими реконструкциями для Барабинской низменности. В конце суб boreального периода выделено шесть пирогенных эпизодов с пиком пожарной активности 2850–2750 кал. л. н. при скорости аккумуляции частиц угля 370 частиц  $\text{см}^2/\text{год}$ . Больше всего пожаров произошло в субатлантическом периоде — 15 эпизодов с самым крупным локальным пожарным очагом в период 1100–1050 кал. л. н., скорость аккумуляции частиц угля достигала 600 частиц  $\text{см}^2/\text{год}$ . Данные палеопожарные пики совпадают с потеплением климата Барабинской низменности, выраженным в увеличении средней температуры июля и преобладанием лесостепных фитоценозов в составе растительных сообществ Барабы. Более влажные условия климата и распространение таежной растительности с 2100 по 1700 кал. л. н. препятствовали возникновению пожаров на территории ряма. В более холодные периоды пожары либо отсутствовали, либо имели незначительную интенсивность. При сопоставлении динамики палеопожаров Николаевского ряма с палеоклиматическими реконструкциями выявлено влияние климатических изменений на возникновение и интенсивность пирогенных эпизодов.

**Ключевые слова:** динамика пожаров, макроугольковый анализ, голоцен, Барабинская лесостепь, рям.

М.А. PUPYSHEVA\*, Т.А. BLYAKHARCHUK\*, \*\*

\*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 643055, Tomsk, pr. Akademichesky, 10/3, Russia, 455207@mail.ru, blyakharchuk@mail.ru

\*\*Tomsk State University, 634050, Tomsk, pr. Lenina, 36, Russia, blyakharchuk@mail.ru

## LATE HOLOCENE DYNAMICS OF FIRES IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF WESTERN SIBERIA (A CASE STUDY OF THE NIKOLAEVSKY RYAM)

The article presents the results of reconstruction of the long-term paleo-fire dynamics in the forest-steppe zone of Western Siberia (Novosibirsk oblast) using the example of the Nikolaevsky ryam peat thickness. According to the radiocarbon dating, the studied peat column has been formed during 3200 cal. yr BP from the Late Subboreal to the present. Twenty-one local fire episodes were identified and time of their occurrence, frequency and intensity were determined based on the macro-charcoal and radiocarbon analyses. In addition, data on the dynamics of paleo-fires in the forest-steppe ryam were compared with published paleoclimatic reconstructions for the Baraba lowland. At the end of the Subboreal period, six pyrogenic episodes were identified with a peak of fire activity during 2850–2750 cal. yr BP at a rate of accumulation of charcoal particles of 370 particles  $\text{cm}^2/\text{year}$ . Most of the fires occurred in the Subatlantic period, namely, 15 fire episodes with the largest local fire activity in the period of 1100–1050 cal. yr BP and the rate of accumulation of charcoal particles reaching 600 particles  $\text{cm}^2/\text{year}$ . These paleo-fire peaks coincide with climate warming in the Baraba lowland, marked as an increase in the average July temperature and the predominance of forest-steppe phytocenoses in composition of vegetation cover of the Baraba. Wetter climate conditions and the spread of taiga vegetation from 2100 to 1700 cal. yr BP prevented the occurrence of fires in the territory of the ryam. In addition, during colder climatic periods, fires were either completely absent or of low intensity. When comparing the dynamics of paleo-fires of the Nikolaevsky ryam with paleoclimatic reconstructions, the influence of the climate change on the occurrence and intensity of pyrogenic episodes was revealed.

**Keywords:** fire dynamics, macro-charcoal analysis, Holocene, Baraba forest-steppe, ryam.

## ВВЕДЕНИЕ

Начиная с середины XX в. и по настоящее время на территории России, включая южные регионы Западной Сибири, наблюдается увеличение площади и интенсивности лесных пожаров [1, 2]. Такая тенденция во многом обусловлена современными климатическими флюктуациями, выраженными в увеличении среднегодовой температуры воздуха [3] и числа экстремальных погодных явлений [4]. К наиболее уязвимым к возгоранию относятся лесостепные верховые сосново-кустарничково-сфагновые болота — так называемые рямы, уникальные экстразональные природные комплексы на южной границе ареала своего распространения [5, 6] (зональными они являются в таежной зоне, расположенной севернее). Это островки верхового олиготрофного болота, для которых характерно недостаточное увлажнение, мощность торфа от 1,5–2 до 8 м [6], а также специфический видовой состав растительности, типичный для болот более северных таежных регионов [7]. Однако, в отличие от таежной зоны, лесостепные рямы окружены на суходоле не лесами, а открытыми степными пространствами, в настоящее время большей частью распаханными. Благодаря данным особенностям, в лесостепных рямах Западной Сибири создаются благоприятные природные условия для интенсивной пирогенной активности. В то же время возникновению пожаров нередко может способствовать и антропогенный фактор.

В Западной Сибири лесостепные рямы сосредоточены на территории Барабинской низменности, часть из них находится под охраной государства в качестве памятников природы [5]. Для дальнейшего сохранения этих болотных экосистем необходимо проведение не только мониторинга, но и детальных палеоэкологических исследований для выявления голоценовой динамики климата и пожаров. Знание фонового уровня палеопожаров позволит сделать вывод о текущих тенденциях пожарной активности и определить ведущие факторы их возникновения, а также выявить влияние климатических флюктуаций на пирогенные процессы.

В опубликованных палеоэкологических исследованиях, посвященных Барабинской лесостепи [8–16], в основном рассматриваются вопросы восстановления динамики растительного покрова и изменения климата в голоцене [8–12], формирования торфяных залежей [13], а также проблемы современного климата [14] и растительности [15]. Встречаются работы по изучению пирогенной сукцессии на верховых болотах [16] и запасов надземного растительного вещества [17]. Однако исследований по реконструкции долговременной динамики палеопожаров в лесостепных рямах до сих пор не проводилось. В этой связи целью нашей работы является восстановление пирогенной истории в позднем голоцене на примере Николаевского ряма Барабинской лесостепи.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Николаевский рям (55°09' с. ш. 79°03' в. д.) представляет собой типичное верховое болото в виде округлого острова сосново-кустарничково-сфагновой болотной растительности с расположенным по центру небольшим озером. Николаевский рям находится в центральной части Обско-Иртышского междуречья, в пределах Барабинской лесостепи, в Убинском районе Новосибирской области (рис. 1).

Растительные сообщества Николаевского ряма, окруженного по периферии кольцом тростниково-болота, или займищем, условно можно поделить на три зоны: периферийную, переходную и центральную. Растительный покров периферии представлен кочковатым осоково-тростниковым болотом с обильным подростом бересклета пушистого (*Betula pubescens* Ehrh.). Из древесных видов здесь также встречаются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ива (*Salix* sp.). Среди кустарников доминирует кассандра обыкновенная (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench) с примесью багульника болотного (*Ledum palustre* L.) и спиреи (*Spireae* sp.).

По направлению к центру болота периферийное растительное сообщество сменяется фацией среднерослого ряма с высотой сосен 5–6 м и диаметром стволов 5–10 см. В древесном составе встречаются также бересклеты, растущие группами по 5–6 деревьев. Микрорельеф — в виде слаженных мховых кочек и бугров высотой около 25 см. Имеется густой кустарничковый ярус высотой 35–40 см и проективным покрытием 90 %. В его составе доминирует багульник с участием кассандры, бруслики (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и андромеды (*Andromeda polifolia* L.). На буграх много клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.). Среди трав встречаются разрозненные экземпляры пушицы влагалищной (*Eriophorum vaginatum* L.) и морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.). Во влажных понижениях можно встретить кустики осоки длинноносиковой (*Carex rostrata* Stokes). Мховое покрытие составляет 90 %. Среди мхов на кочках и буграх доминирует сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum* Schimp.) (90 %), в межкочьях — сфагнум узколистный (*S. angustifolium* (Russ.) C. Jens.) (10 %).

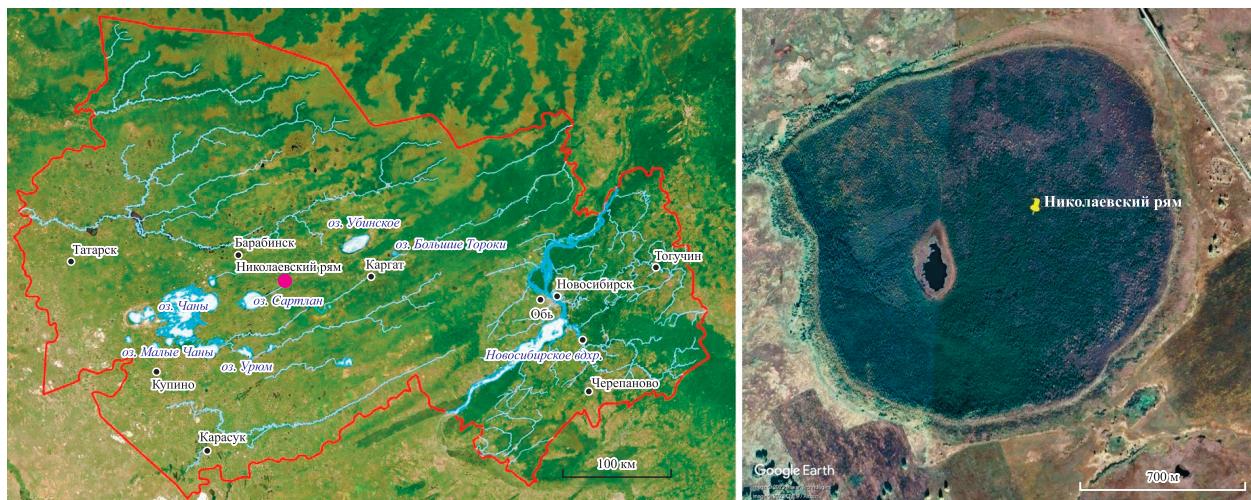


Рис. 1. Географическое положение района исследования на карте Новосибирской области (а) и космоснимок Николаевского ряма (Google Earth) (б).

Центральная часть болота представлена фацией низкого ряма с аналогичным среднерослому ряму составом растительного покрова, но древостой из сосен и берескен здесь имеет меньшую высоту (3–5 м), диаметр стволов 3–12 см. Также меньшей высотой отличается травяно-кустарничковый ярус (до 30 см), среди которого теперь больше багульника, а среди мхов — сфагнума бурого. Здесь же, в центральной части, расположено вторичное озеро, окруженнное вахтово-осоково-сфагновой мочажиной, переходящей в сплавину у самого края озера с доминированием осоки длинноносиковой (*Carex rostrata*) и топяной (*C. limosa* L.). В целом рельеф болота выпуклый в центральной части и понижается к периферии. Разница в высотах составляет примерно 10 м.

Ранее опубликованные исследования по Николаевскому ряму [13–17] показали, что данный объект исследования находится в менее угнетенном состоянии, в отличие от соседних рямов, даже несмотря на то что он подвергался неоднократному пирогенному воздействию. В работе В.А. Степановой и И.И. Волковой [13] был рассчитан возраст Николаевского ряма на основании известной величины средней скорости торфообразования (1,64 мм/год) — 2600 тыс. лет, рассмотрены строение торфяной залежи и ее генезис, но радиоуглеродных датировок ряма не приводилось. Роль и влияние пирогенной сукцессии в лесостепных рямах, включая Николаевский, рассматривались в работе Н.П. Косых [16]. Однако ни в одном из перечисленных исследований не проводилась реконструкция палеопожарных условий голоценена на примере отложений Николаевского ряма с учетом радиоуглеродных датировок.

Для реконструкции долговременной истории палеопожаров и выявления достоверного возраста торфяных отложений Николаевского ряма в сентябре 2021 г. выполнялись экспедиционные работы. Для палеоэкологических анализов были отобраны образцы торфа до глубины 320 см в центральной части болота. Поскольку торф исследуемого ряма был плотный и переувлажненный, то до глубины 170 см был выкопан разрез, из которого брались торфяные монолиты для дальнейшей обработки в лаборатории. С глубины в интервале 170–320 см торф отбирался в виде кернов с помощью торфяного бура. Сильное обводнение нижележащих слоев торфа и препятствия в виде погребенных стволов и корней деревьев не позволили пройти буром до подстилающего торфяник минерального грунта, хотя, согласно [13, 15], мощность торфяных отложений Николаевского ряма составляет более 4 м. Нужно отметить, что во время полевых работ в толще торфяных отложений неоднократно встречались пирогенные прослойки, свидетельствующие о палеопожарных эпизодах, затрагивавших само болото.

Для изучаемого разреза было получено шесть радиоуглеродных датировок, из которых пять выполнены в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск) методом жидкостной сцинтилляции (с глубины от 48 до 170 см) и одна — в Национальном университете Тайваня (на глубине 304 см) методом ускорительной масс-спектроскопии (см. таблицу). На основе радиоуглеродных дат, откалиброванных в программе Bacon [18] в R version 4.0.4 (2021-02-15) [19] в системе счисления «от настоящего времени» (за нулевую точку отсчета принят 1950 г.), построена глубинно-возрастная модель торфяных отложений Николаевского ряма и рассчитан календарный возраст каждого образца (рис. 2). Поскольку радиоуглеродные датировки были сделаны только до глубины 304 см, возраст до отметки 320 см был рассчитан путем экстраполяции через программу Bacon [18] в про-

странстве R [19] с применением статистических параметров boundary; d.max. Все дальнейшие палеореконструкции для этого разреза сделаны на основе калиброванного (календарного) возраста.

Для восстановления локальной истории палеопожаров применялся метод макроуголькового анализа [20, 21]. Сохранившиеся в отложениях частицы угля (размером  $>100$  мкм) служат индикаторами локальных пирогенных эпизодов. Подсчет количества макроскопических частиц угольков в каждом из образцов отложений позволяет нам реконструировать долговременную динамику палеопожаров в локальном масштабе. В работе использовалась общепринятая методика обработки болотных образцов для макроуголькового анализа [20, 21]. Из монолитов и керна были отобраны стандартные по объему образцы ( $2\text{ см}^3$ ) с интервалом 1–2 см. Все 170 образцов торфяных отложений были промыты дистиллированной водой и просеяны через сито с

#### Радиоуглеродные даты торфяных отложений болота Николаевский рям

Лабораторный код	Глубина, см	Возраст, $^{14}\text{C}$ л. н.
IMCES-14C2271	48–50	$450 \pm 100$
IMCES-14C2267	100–102	$1150 \pm 110$
IMCES-14C2266	118–120	$1600 \pm 105$
IMCES-14C2270	150–152	$1745 \pm 120$
IMCES-14C2269	168–170	$1805 \pm 150$
NTUAMS-8729-1	304	$2874 \pm 101$

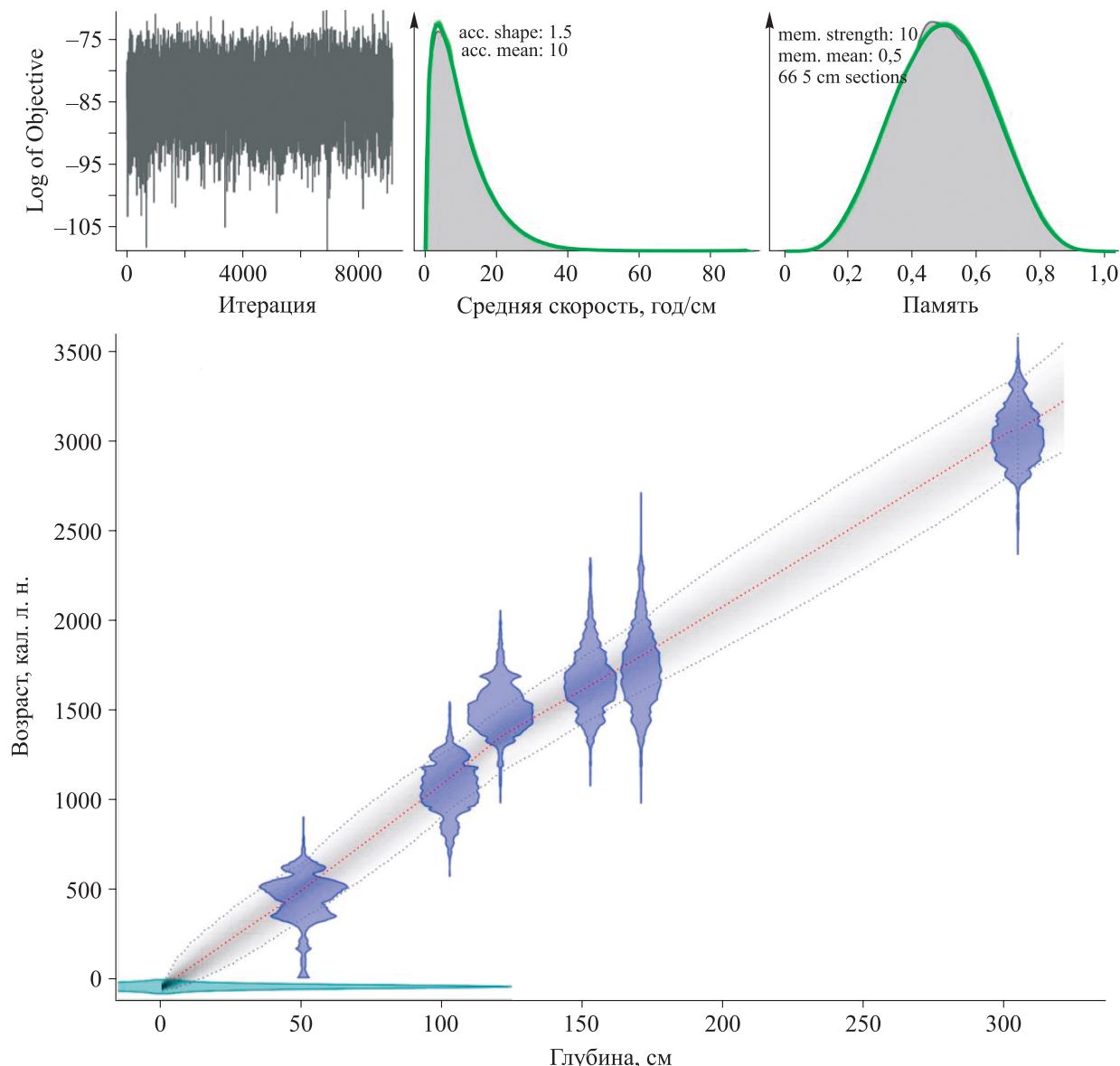


Рис. 2. Глубинно-возрастная модель торфяных отложений Николаевского ряма.

размером отверстий 125 мкм. После промывания и просеивания образцов в суспензию добавляли 10%-й раствор гидроксида калия (КОН) объемом 15 мл и прогревали образцы на водяной бане с последующим промыванием дистиллированной водой. Затем в них добавляли 6%-й раствор перекиси водорода  $H_2O_2$  (объемом 20 мл) и выдерживали не менее 48 ч [20, 21]. Данная обработка способствует обесцвечиванию органики, что позволяет хорошо различать и подсчитывать черные частицы угольков под бинокулярным микроскопом при увеличении 45x с использованием камеры Богорова.

Статистический анализ полученных макроугольковых данных для торфяных отложений Николаевского ряма проведен с помощью программного пакета CharAnalysis [22], адаптированного для среды программирования R [19]. Эта программа позволила рассчитать скорость аккумуляции частиц угля (CHAR-индекс) путем пересчета абсолютного количества частиц макроугольков в стандартном объеме образца (количество макрочастиц на 2 см<sup>3</sup>) на скорость аккумуляции угля (частиц на см<sup>2</sup>/год). Кроме того, программа CharAnalysis помогла определить фоновые и пороговые значения для отделения локальных (в радиусе до 1–3 км от очага возгорания) пожаров от региональных (на расстоянии до 20 км) и выявить конкретные пожарные эпизоды. В качестве хронологической основы использовались данные глубинно-возрастной модели отложений Николаевского ряма (см. рис. 2), построенные в Bacon [18] в R [19]. При расчетах фоновых и пороговых значений скоростей аккумуляции макрочастиц угля применялась статистическая функция LOESS (локально-линейная регрессия) с периодом сглаживания 250 лет. Временное окно для определения локальных пожарных эпизодов путем выделения значений, превышающих фоновые показатели, составило 3 тыс. лет. Кроме того, для статистической достоверности временного окна использован безразмерный индекс отношения сигнала к шуму (SNI) [23]. В данном случае он составил от 2 до 4,5, что удовлетворяет статистическим требованиям анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для восстановления долговременной истории палеопожаров в лесостепной зоне Западно-Сибирской равнины использованы результаты проведенного радиоуглеродного, макроуголькового и статистического анализа торфяных отложений Николаевского ряма в виде графиков и диаграмм на равномерной глубинно-возрастной шкале (см. таблицу, рис. 2, 3).

Согласно данным радиоуглеродного датирования и проведенных расчетов (см. таблицу, рис. 2), формирование исследованной толщи торфяных отложений Николаевского ряма началось 3200 кал. л. н., охватив конец суб boreального и весь субатлантический период. Полученная нами макроугольковая запись начала формироваться в условиях холодного и влажного климата, характерного для Барабин-

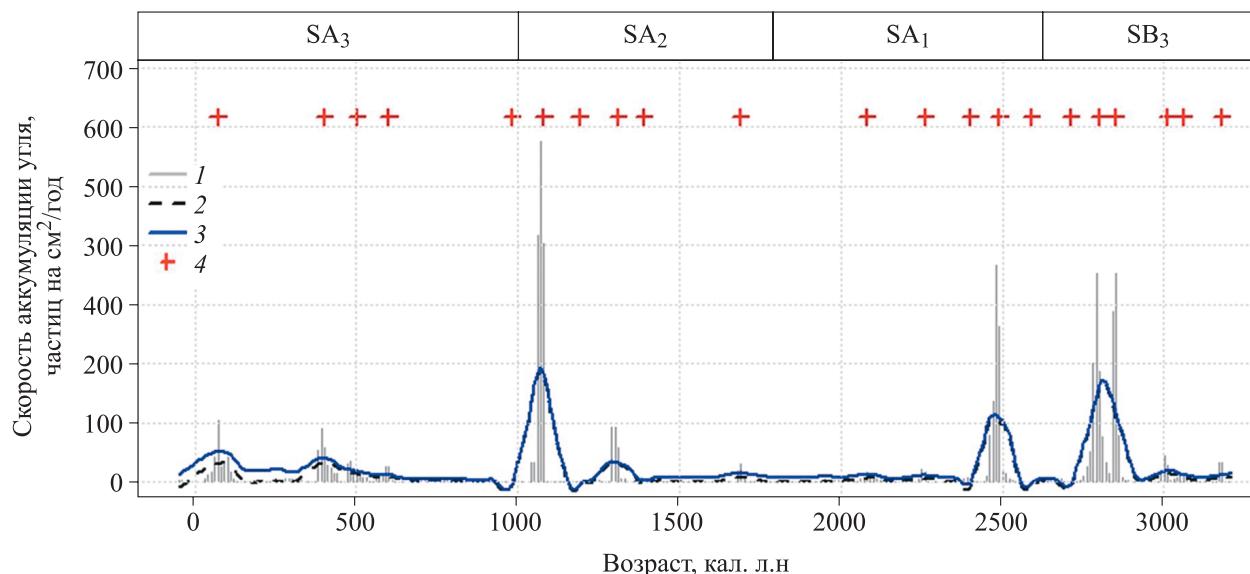


Рис. 3. Изменение скорости аккумуляции макроскопических частиц угля в торфяных отложениях Николаевского ряма, рассчитанное по данным абсолютного подсчета макроугольков с помощью программы CharAnalysis.

Значения: 1 — интерполированные, 2 — фоновые, 3 — пороговые. 4 — локальные пожарные эпизоды.

ской низменности в период 3200–3000 кал. л. н. [10, 12]. Таким образом, радиоуглеродные датировки показали более древний возраст изученной нами толщи торфа по сравнению с расчетным возрастом, указанным в [13]. Согласно последнему, возникновение Николаевского ряма (с мощностью торфа 430 см) произошло около 2600 л. н. Вместе с тем структура торфяной залежи этого болота, определенная авторами [13] как соотношение 3:1:18 по видам торфа: эвтрофный:мезотрофный:олиготрофный соответственно, не вызывает сомнений. Вся изученная нами толща торфа относится к верховому фускум-торфу.

Результаты расчета изменения скорости аккумуляции частиц угля с помощью программы CharAnalysis [22] представлены на рис. 3. Они показывают общую тенденцию динамики палеопожаров за 3200 кал. л. Программой выделен 21 локальный пожарный эпизод (см. рис. 3) за весь период развития Николаевского ряма, основная интенсивность которых пришла на конец суб boreала (2850–2750 кал. л. н.) – начало субатлантики (2500–2450 кал. л. н.) и на стадию средневековой климатической аномалии (1100–1050 кал. л. н.). В это же время отмечена максимальная скорость аккумуляции частиц угля в отложениях – от ~370 частиц на см<sup>2</sup>/год (2850, 2750, 2500 кал. л. н.) до ~600 (1100–1050 кал. л. н.). Эти данные свидетельствуют как минимум о трех крупных локальных пожарах, захватывавших и территорию болота, – около 2800, 2500 и 1050 кал. л. н. Кроме того, 1300, 380 и 100–50 кал. л. н. также зафиксирована значительная пожарная активность (см. рис. 3). Пожарные эпизоды меньшей интенсивности отмечены около 3180, 3050, 3000, 2700, 2600, 2250, 2100, 1700, 1350, 1200, 950, 600 и 500 кал. л. н.

Полученные нами данные по динамике палеопожаров Николаевского ряма были сопоставлены с опубликованными палеоклиматическими реконструкциями для Барабинской низменности за последние 3200 кал. л. н. [8–12]. В результате выделены четыре основных этапа локальной истории палеопожаров в пределах Николаевского ряма на фоне климатических изменений:

1. Исследованная нами толща торфа начала формироваться 3200 кал. л. н. в период прохладных и влажных климатических условий с доминированием лесостепных растительных формаций в пределах Барабинской низменности [8–12]. Возможно, такие климатические условия способствовали более низкой пирогенной активности в районе Николаевского ряма в интервале 3200–2900 кал. л. н. со скоростью аккумуляции частиц угля до 50 частиц на см<sup>2</sup>/год. К тому же 3200 кал. л. н. отмечено резкое снижение средней температуры июля с 18 до 16 °C [8, 9], что также могло повлиять на снижение числа пожаров в это время. Согласно реконструкциям средней температуры июля для Барабинской низменности [8, 9], около 3100 кал. л. н. произошло постепенное потепление климата, которое, вероятно, привело к незначительным пожарным эпизодам 3180, 3050, 3000 кал. л. н. В конце суб boreального периода (SB<sup>3</sup>) на исследуемой территории имели место шесть пожарных эпизодов с максимумом пирогенной активности 2850–2750 кал. л. н. (см. рис. 3). Согласно реконструкциям палеоклимата по пыльцевым данным оз. Большие Тороки [8, 9], в диапазоне 2900–2700 кал. л. н. средняя температура июля в Барабе достигла 18,5 °C, что могло способствовать резкому росту палеопожаров с двумя пиками пирогенной активности (2850 и 2750 кал. л. н.) и скоростью аккумуляции угольков до ~370 частиц на см<sup>2</sup>/год. Высокая скорость аккумуляции угольков может служить свидетельством крупных палеопожаров, захватывавших непосредственно территорию исследуемого болота. Программой CharAnalysis отмечен еще один незначительный пожарный эпизод ~2700 кал. л. н., возникший, по всей видимости, из-за небольшого потепления (в связи с увеличением температуры июля до 18,4 °C) и доминирующей роли лесостепных формаций в этот период [8, 9].

2. В начале субатлантического периода (SA<sub>1</sub>) зафиксировано четыре локальных пожарных эпизода с относительно низкой пирогенной активностью – 2600, 2480, 2250, 2100 кал. л. н. и один крупный локальный очаг – 2500 кал. л. н. (см. рис. 3). Примечательно, что первые четыре пожара по времени совпадают с периодами увеличения средней температуры июля от 18,5 °C (2600, 2250, 2100 кал. л. н.) до 19 °C (2480 кал. л. н.) [8, 9], тем не менее они имели незначительную интенсивность, поскольку скорость аккумуляции частиц угля варьировала от 0–5 до 10 частиц на см<sup>2</sup>/год. Этого нельзя сказать о пожарном эпизоде 2500 кал. л. н., произошедшем в период снижения летней температуры до 18,2 °C [8, 9]. Указанные условия не помешали возникнуть крупному пирогенному очагу на территории исследуемого болота, о чем также свидетельствует высокая скорость аккумуляции угольков в это время – 370 частиц на см<sup>2</sup>/год. Интересно, что пожары в период 2600–2200 кал. л. н. возникали в условиях распространения лесостепных ландшафтов на севере Барабы, а начиная с 2100 кал. л. н. их сменили хвойные леса [8]. В дальнейшем продвижение границы таежной растительности (сосны, ели) на юг и увеличение количества осадков [8, 9] способствовали палеопожарной «пассивности» вплоть до 1650 кал. л. н., в течение которой не отмечено ни одного пирогенного эпизода в пределах Николаевского ряма.

3. В середине субатлантического периода ( $SA_2$ ) наблюдалось пять локальных палеопожарных эпизодов, выделенных программой CharAnalysis, — 1700, 1350, 1300, 1200 и 1050 кал. л. н. (см. рис. 3). В период 1800–1650 кал. л. н. на севере территории Барабинской низменности произошла смена природно-климатических условий, выраженная в снижении средней температуры июля до 17,8 °C [8, 9] и постепенном распространении лесостепных формаций на месте хвойных лесов. Вероятно, такие условия сдерживали возникновение пожаров. Первый локальный палеопожар зафиксирован 1700 кал. л. н., когда климат Барабы стал ненадолго теплее и средняя температура июля достигла 18,3 °C [8, 9]. Однако с этого времени и до 1350 кал. л. н. не наблюдалось пожаров, вероятно, из-за небольшого похолодания в летние месяцы [8, 9]. Средневековой климатический оптимум (1350–1050 кал. л. н.), возможно, способствовал увеличению пирогенной активности и привел к четырем пожарным эпизодам — 1350 кал. л. н. (~0–10 частиц на см<sup>2</sup>/год), 1300 кал. л. н. (~100), 1200 кал. л. н. (~0–10) и 1050 кал. л. н. (~600 частиц на см<sup>2</sup>/год). Именно в диапазоне 1100–1050 кал. л. н. произошли самые крупные локальные пожары на Николаевском ряме за весь исследуемый период, а 1050 кал. л. н. имело место даже выгорание в пределах болота, судя по концентрации макроугольков в слоях торфа (см. рис. 3). Согласно палеоклиматическим реконструкциям по оз. Большие Тороки [8, 9], в это время на территории Барабы произошел небольшой рост средней температуры июля (до 18,2 °C) и отмечалось увеличение доли злаков в растительных сообществах. Данные условия могли повлиять на возникновение крупного локального пожара.

4. В конце субатлантического периода ( $SA_3$ ) зафиксирована относительно низкая пожарная активность с пожарными эпизодами 950, 600, 500, 380 и 100–50 кал. л. н. (см. рис. 3). В конце средневекового климатического оптимума (950 кал. л. н.) программой CharAnalysis зафиксирован один небольшой пожарный эпизод со скоростью аккумуляции частиц угля ниже порогового значения (отрицательные данные). Вероятно, это может быть погрешностью самой программы. В интервале 950–600 кал. л. н. наблюдалось постепенное снижение средней температуры июля до 18 °C, что не спровоцировало ни одного пожарного эпизода на ряме. Палеопожары, возникшие в начале малого ледникового периода (600, 500 кал. л. н.), отличались низкой интенсивностью горения со скоростью аккумуляции угля до ~10–20 частиц на см<sup>2</sup>/год. Вероятно, холодные климатические условия сдерживали распространение пожаров на территории. Пирогенные эпизоды 380 и 100–50 кал. л. н. отмечены более выраженным характером горения — до ~100 частиц угля на см<sup>2</sup>/год. Если первый из них мог быть связан с сухими условиями малого ледникового периода, то второй, возможно, возник по вине человека. Однако не исключено, что ряд пожарных эпизодов в изучаемый период (3200 кал. л. н.) на территории Барабинской низменности также был связан с влиянием человека, поскольку в это время здесь развивались и сменяли друг друга разнообразные археологические культуры, практиковавшие главным образом отгонное скотоводство.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе макроуголькового анализа торфяных отложений Николаевского ряма и их радиоуглеродного датирования реконструирована 3200-летняя динамика локальных палеопожаров. Начало макроугольковой записи приходится на холодные и влажные условия суббореального периода. За это время произошел 21 пожарный эпизод с разной периодичностью и интенсивностью. В конце суббореала зафиксировано шесть локальных пожаров, а за весь субатлантический период — 15. Самые крупные палеопожары, приводившие к выгоранию болотной растительности, выявлены в периоды 2850–2750, 2500–2450 и 1100–1050 кал. л. н. Они могли быть связаны с изменениями природно-климатических условий в пределах Барабинской низменности — с увеличением средней температуры июля и доминированием лесостепных ландшафтов в растительном покрове. Интенсивные пожары, произошедшие 1300 и 1100–1050 кал. л. н., отражают прямое влияние средневековой климатической аномалии. В промежуток, когда в Барабинской низменности распространялась мезофитная таежная растительность (2100–1700 кал. л. н.), локальных пожаров в пределах Николаевского ряма не происходило. Примечательно, что в малый ледниковый период также наблюдалась серия пирогенных эпизодов (600, 500, 380 кал. л. н.), хотя эти пожары не отличались высокой интенсивностью. При исследовании обнаруживается непосредственное влияние климатических изменений и сопутствующих им перестроек ландшафтов на динамику и интенсивность пожаров в пределах исследуемого ряма.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (23–27–00217).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C., Flannigan M.D.** Wildfires in the Siberian taiga // Ambio [Электронный ресурс]. — <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x> (дата обращения 21.03.2022).
2. **Hererra V.M.V., Soon W., Pérez-Moreno C., Herrera G.V., Martell-Dubois R., Rosique-de la Cruz L., Fedorov V.M., Cerdeira-Estrada S., Bongelli E., Zuniga E.** Past and future of wildfires in Northern Hemisphere's boreal forests // Forest Ecology and Management. — 2022. — Vol. 504. — P. 119859.
3. **Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В.** Оценка современных тенденций изменения среднемесячной температуры в пограничном слое атмосферы Сибирского региона // Оптика атмосферы и океана. — 2021. — Т. 34, № 9. — С. 705–710.
4. **Харютина Е.В., Логинов С.В., Усова Е.И., Мартынова Ю.В., Пустовалов К.Н.** Тенденции изменения экстремальности климата Западной Сибири в конце XX–начале XXI века // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2019. — Т. 2. — С. 45–65.
5. **Мугако А.Л.** Особо охраняемые природные территории Новосибирской области. Памятники природы: ряды. — Новосибирск: Наука, 2006. — 12 с.
6. **Валуцкий В.И.** Растительность лесостепных рямов в Восточной Барабе // Turczaninowia. — 2011. — Т. 14, № 1. — С. 109–119.
7. **Лапшина Е.Д.** Флора болот юго-востока Западной Сибири. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. — 296 с.
8. **Zhilich S., Rudaya N., Krivonogov S., Nazarova L., Pozdnyakov D.** Environmental dynamics of the Baraba forest-steppe (Siberia) over the last 8000 years and their impact on the types of economic life of the population // Quaternary Science Reviews. — 2017. — Vol. 163. — P. 152–161.
9. **Nikulina A.V.** GIS-based analysis of settlement patterns for the central Baraba Lowland (Western Siberia, Russia) in relation to climatic conditions of the Middle–Late Holocene // Journ. of Archaeological Science: Reports. — 2019. — Vol. 24. — P. 302–312.
10. **Krivonogov S.K., Takahara H., Yamamuro M., Preis Y.I., Khazina I.V., Khazin L.B., Safonova I.Y., Ignatova N.V.** Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Belyye // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. — 2012. — Vol. 331. — P. 177–193.
11. **Krivonogov S.K., Zhdanova A.N., Solotchin P.A., Kazansky A.Y., Chegis V.V., Liu Z., Song M., Zhilich S.V., Rudaya N.A., Cao X., Palagushkina O.V., Nazarova L.B., Syrykh L.S.** The Holocene environmental changes revealed from the sediments of the Yarkov sub-basin of Lake Chany, south-western Siberia // Geoscience Frontiers. — 2023. — Vol. 14, N 2. — P. 101518.
12. **Жилич С.В., Рудая Н.А., Кривоногов С.К.** Изменение растительности и климата в районе озера Малые Чаны в позднем голоцене // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. — 2016. — Т. 7, № 1. — С. 68–75.
13. **Степанова В.А., Волкова И.И.** Особенности генезиса Николаевского ряма в лесостепи Западной Сибири // Вестн. Том. ун-та. Биология. — 2017. — № 40. — С. 202–223.
14. **Коронатова Н.Г., Мироньчева-Токарева Н.П.** Температурный режим торфяных олиготрофных почв лесостепи Западной Сибири (на примере Николаевского ряма) // Вестн. Том. ун-та. Биология. — 2019. — № 45. — С. 190–209.
15. **Наумов А.В., Косых Н.П., Паршина Е.К., Артымук С.Ю.** Верховые болота лесостепной зоны, их состояние и мониторинг // Сиб. экол. журн. — 2009. — Т. 16, № 2. — С. 251–259.
16. **Косых Н.П.** Пирогенная сукцессия на болотах лесостепной зоны // Степи Северной Евразии: Материалы VI Международного симпозиума и VIII Международной школы-семинара «Геоэкологические проблемы степных регионов». — Оренбург: Газпромпечать, 2012. — С. 408–411.
17. **Сайб Е.А.** Запасы надземной биомассы в болотных экосистемах лесостепной зоны Западной Сибири // Интерэкспо. Гео-Сибирь. — 2016. — Т. 4, № 2. — С. 84–88.
18. **Blaauw M., Christen J.A.** Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. — 2011. — Vol. 6. — P. 457–474.
19. **R Core Team R: a language and environment for statistical computing: R foundation for statistical computing** [Электронный ресурс]. — <http://www.r-project.org/index.html> (дата обращения 21.03.2022).
20. **Whitlock C., Larsen C.** Charcoal as a fire proxy // Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research. — 2002. — Vol. 3. — P. 75–97.
21. **Mooney S., Tinner W.** The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires Peat. — 2011. — Vol. 7. — P. 1–18.
22. **Higuera P.** CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. — Bozeman: Montana State University, 2009. — 27 p.
23. **Kelly R.F., Higuera P.E., Barrett C.M., Sheng F.A.** Signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment — charcoal records // Quaternary Research. — 2011. — Vol. 75, N 1. — P. 11–17.

Поступила в редакцию 15.05.2023

После доработки 19.06.2023

Принята к публикации 23.11.2023