

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 571.51: 630.43:551.312.22:551.795

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ПОЖАРОВ В ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ СОДЕРЖАНИЯ МАКРОЧАСТИЦ УГЛЯ В ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ В ДОЛИНЕ РЕКИ ДУБЧЕС

Л. В. Карпенко¹, А. В. Гренадерова², А. Б. Михайлова², О. В. Подобуева²

¹ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

² Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

E-mail: karp@ksc.krasn.ru, agrenadyorova@sfu-kras.ru, arodionova@sfu-kras.ru, olga.podobueva@mail.ru

Поступила в редакцию 02.02.2022 г.

Приведены результаты реконструкции локальных пожаров в правобережной части долины р. Дубчес (средняя тайга Приенисейской Сибири) в голоцене на основе стратиграфического анализа торфяной залежи. Объектом исследований стало верховое сосново-кустарничково-сфагновое болото с хорошо развитым древесным ярусом из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Мощность залежи – 4.15 м, ее возраст проинтерпретирован 11 радиоуглеродными датами, возраст придонного слоя торфа – 11802 ± 52 ¹⁴C лет назад (л. н.). В торфяной колонке на глубинах 3.25, 3.15, 2.90, 2.65 м обнаружены следы пожаров в виде пирогенных прослоек. Динамику пожаров реконструировали по методике подсчета макроскопических частиц угля Charcoal. Установлены время, периодичность и интенсивность пожаров на суходолах, окружающих болото. В динамике локальных пожаров выделены четыре периода: около 12000–10000, 8250–7250, 6300–4000, 2400 календарных лет назад (кал. л. н.) – по настоящее время. Локальные пожарные эпизоды древесного угля пришлись на следующие даты: 11600, 11150, 10500, 7800, 5900, 5450, 4600, 1900, 1200 и 250 кал. л. н. Отмечено, что наиболее высокая пожарная активность наблюдалась в раннеголоценовое время, о чем свидетельствует повышенное содержание макроугольков в торфе. Основной причиной пожаров, вероятно, были аномально засушливые весенне-летние сезоны, обусловленные сухим и теплым климатом. Болото было пройдено пожаром 7790, 7030, 5610 и 4890 кал. л. н. Пирогенная деструкция торфа минимальна, что свидетельствует о слабой или средней интенсивности торфяного пожара. Пожары на болоте способствовали активизации лесообразовательного процесса. В позднем голоцене воздействие пожаров на болотный массив прекратилось, произошла смена лесных фитоценозов сильно обводненными грядово-мочажинными комплексами.

Ключевые слова: болото, макроугольковый анализ, пирогенные прослойки, пики притока древесного угля, динамика пожаров.

DOI: 10.15372/SJFS20220401

ВВЕДЕНИЕ

Пожары в исторически обозримый период времени были важным экологическим фактором воздействия на бореальные леса Сибири. Как отмечал В. В. Фуряев (Лесные экосистемы..., 2002), «выявление масштабов и особенностей этого воздействия в связи с зонально-географи-

ческими изменениями климата в историческом прошлом, настоящем и, особенно, в будущем является актуальной проблемой» (с. 107). В мире ежегодно случается не менее 200 тыс. лесных пожаров, уничтожающих около 0.5 % всей площади лесов. В России в среднем регистрируются от 16 до 30 тыс. пожаров в год на площади около 900 тыс. га (Залесов, 1998; Давыденко,

1999; Швиденко, Щепашенко, 2013). В лесах Сибири ежегодно возникает от 4.5 до 27 тыс. пожаров, которые охватывают площади от 3.5 до 18 млн га. Основной причиной лесных пожаров являются сухие грозы (Фуряев, 1996; Иванова и др., 2014).

На Земле лесные пожары возникали задолго до появления человека вследствие катастрофических засух и молний (Loore, Gruell, 1973; Курбатский, 1976; и др.). На территории Средней и Приенисейской Сибири максимум пожаров отмечен 8300–8000, 6000–5000 и около 3200 л. н. (Кошкарова, 1986; Карпенко, Прокушкин, 2019). При сопоставлении археологических и палеоэкологических данных для южной тайги Енисейского правобережья (Гренадерова и др., 2021) установлено, что хозяйственная деятельность древнего человека значительных преобразований в растительный покров не внесла, а причиной усиления пожарной активности стала атмосферная засуха.

О палеопожарах свидетельствуют пирогенные признаки в виде прослоек золы и углей, сохраняющихся в торфяниках. Залежь болот является уникальным объектом для реконструкции климатических и экологических изменений в голоцене, в том числе и долговременной динамики пожаров (Clark, 1982; Ефремова, Ефремов, 1994; Громцев, 2008).

Объект исследования расположен в бассейне нижнего течения р. Дубчес, в его правобережной части (Нижне-Енисейское лесничество, 25 км к западу от с. Зотино). Географические координаты – 60°49' с. ш., 89°23' в. д. По схеме лесопожарного районирования (Софронов, Волокитина, 1986), территория относится к Сымскому лесопирологическому округу. Горимость лесов этого округа умеренная, однако «беглые пожары в сосняках лишайниковых возможны в течение всего сезона» (с. 146). Особенностью района исследований является значительная заболоченность и заторфованность.

Анализ динамики торфонакопления в Западной и Приенисейской Сибири свидетельствует о том, что заболачивание этой территории началось преимущественно 10000–8000 л. н. (Нейштадт, 1957; Волкова, Левина, 1982; Глебов, 1988; Ямских и др., 2004; Инишева, 2006; Mikhailova et al., 2021; и др.). Исследованная нами торфяная залежь имеет древний возраст – 11802 ± 52 кал. л. н., что позволило охватить палеоэкологическими реконструкциями значительный период времени – от аллереда до настоящего времени.

Цель работы – на основе содержания макроскопических частиц угля и пирогенных прослоек в торфяной залежи верхового болота, расположенного в долине нижнего течения р. Дубчес, реконструировать активность локальных пожаров и оценить влияние климатических флуктуаций в голоцене на их динамику.

В ходе исследования были выполнены ботанический и радиоуглеродный анализы торфа. На основе подсчета макроугольков по всей глубине торфяной колонки установлены время, интенсивность и периодичность локальных пожаров; по почвенно-морфологическим признакам пирогенных прослоек выявлены вид и интенсивность торфяных пожаров на болотном массиве.

Реконструкция локальных пожаров методом макроуголькового анализа Charcoal для территории исследований приводится впервые, что представляет несомненный научный интерес.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные ландшафтные единицы в районе исследования представлены сосновыми лесами, преимущественно лишайниковыми борами, расположенными на высоких незаболоченных песчаных гривах и труднопроходимых болотах, среди которых доминируют рямы, грядово-мочажинные и озерково-мочажинные комплексы (Елизарьева, 1964). Лесопокрытая площадь Нижне-Енисейского лесничества составляет 4 599 800 га, на долю гарей приходится 5719 га.

Объект исследования – верховое болото, расположенное в районе Международной обсерватории высотной мачты ZOTTO (с. Зотино, Красноярский край). Болотный массив площадью около 3 км² залегает в долине нижнего течения р. Дубчес, левого притока р. Енисей (рис. 1).

На участках, граничащих с болотом, распространены заболоченные и болотные олиготрофные кустарничково-сфагновые и лишайниково-сфагновые сосняки. Узкие окраины болотного массива заняты березовыми болотно-травяными лесами. На суходолах, окружающих болотный массив, развиты в основном лишайниковые, зеленомошно-брусничные и зеленомошно-черничные боры.

Точка отбора торфяной колонки располагается на расстоянии 500 м от опушки леса на сосново-кустарничково-сфагновой гряде высотой 0.5 м. При помощи ручного бура системы Гиллера сплошной колонкой с интервалом 5 см отобрано 82 образца для определения ботани-



Рис. 1. Общий вид болотного массива.

ческого состава торфа. Одновременно фиксировали наличие пирогенных прослоек по глубине торфяной залежи. Позже в лабораторных условиях отобраны пробы для метода Charcoal. Для определения абсолютного возраста торфяных отложений по ^{14}C с различным интервалом отобрано 11 образцов. Возраст торфа определен методом ускорительной масс-спектропии (3-MV Tandem ion accelerator) в Институте биогеохимии им. Макса Планка (Йена, Германия) (Steinhof et al., 2017). На основе полученных радиоуглеродных дат была выполнена

их калибровка с использованием пакета Clam (Vlaauw, 2010) и построен график глубинно-возрастной зависимости (рис. 2). Данные по датированию торфа приведены в табл. 1.

Основными методами исследований стали ботанический, радиоуглеродный и макроугольковый анализы торфа. Ботанический анализ торфа проведен по ГОСТ 28245-89 (2006) с использованием микроскопа Leitz Wetzlar.

Анализ макроугольков методом Charcoal выполнен с предварительной обработкой образцов объемом 1 см^3 из каждого 5-сантиметрового

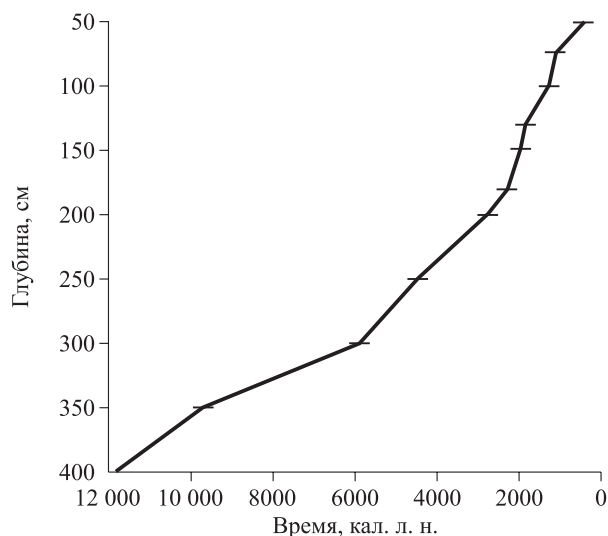


Рис. 2. Глубинно-возрастная зависимость для торфяной колонки «Зотино, ВБ7-3».

Таблица 1. Данные AMS ^{14}C -датирования торфяных отложений болота Зотино, ВБ7-3 и даты, калиброванные с использованием пакета Clam

Глубина, см	Возраст	
	^{14}C , л. н.	кал. л. н. (2 σ)
45–50	388 ± 42	387 (305–469)
70–75	1066 ± 32	1067 (1006–1129)
95–100	1257 ± 29	1258 (1202–1312)
125–130	1827 ± 31	1827 (1771–1884)
145–150	1954 ± 29	1955 (1902–2014)
175–180	2248 ± 30	2248 (2189–2304)
195–200	2769 ± 31	2768 (2712–2825)
245–250	4457 ± 32	4457 (4399–4521)
295–300	5894 ± 33	5894 (5831–5958)
345–350	9680 ± 46	9681 (9590–9773)
395–400	$11\ 802 \pm 52$	11 802 (11 699–11 903)

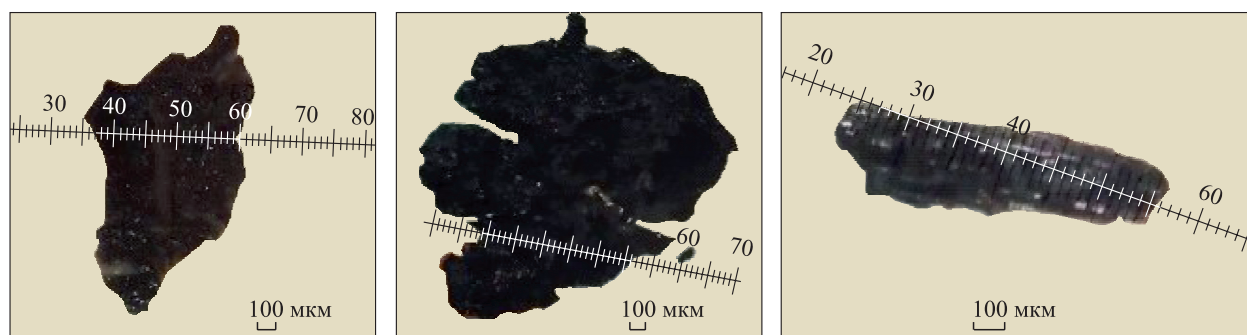


Рис. 3. Фото макроугольков из отложений торфа болота Зотино, ВБ7-3.

интервала (исключая пирогенные прослойки) 10 % $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ и нагреванием в течение 48 ч в присутствии 6 %-й H_2O_2 (Clark, 1988). Подсчет угольков проведен при $\times 20$, учитывались все угольки крупнее 125 мкм. Основные идентификационные признаки макроугольков – это угловатая форма, металлический блеск, черный цвет частиц и способность разламываться при физическом воздействии на них (рис. 3).

Выявленное количество угольков в каждом интервале и полученный с помощью калибровочной кривой возраст были введены в качестве исходных параметров в программу CharAnalysis. Полученные графики отражают достоверные пики притока древесного угля в соответствии с временными рамками. Освоение методики Charcoal проходило в рамках научных мероприятий, организованных группой DIMA – Developing Innovative Multiproxy Approaches for Siberia and the Russian Far East (Edwards et al., 2021).

Реконструкция гидрологического режима болотного массива в голоцене выполнена по Л. Г. Раменскому и соавт. (1956), степень разложения торфа – по Н. И. Пьявченко (1963). Общая характеристика торфяной колонки представлена на рис. 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общее описание растительного покрова болотного массива в долине р. Дубчес, его стратиграфия и радиоуглеродный возраст опубликованы ранее (Карпенко, Прокушкин, 2018).

Отметим только, что в центре болота, где проводились исследования, господствует сосново-кустарничково-сфагновая (рямовая) группировка с хорошо развитым древесным ярусом из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Мощность торфяной залежи в точке бурения составила 4.15 м, ниже залежь подстилается белесым песком. На глубинах 3.25, 3.15, 2.90, 2.65 м об-

наружены пирогенные прослойки разной мощности (от 2 до 3 см) (табл. 2).

С помощью программы CharAnalysis получены наглядные схемы, демонстрирующие приток макрочастиц древесного угля и интервалы повторения пожаров в заданном временном отрезке (рис. 5, 6).

Макроскопические частицы угля могут рассеиваться от локализации пожара на десятки – сотни метров, в некоторых случаях до 10–20 км, это зависит от интенсивности пожара, площади, охваченной пожаром, от условий, способствующих переотложению (Higuera et al., 2007; Peters, Higuera, 2007). Фоновое и пиковое значения древесного угля отличаются пространственным масштабом поступления. Под фоновым значением имеется в виду сумма частиц, поступивших с большей территории (до 20 км), в том числе и путем вторичного переноса частиц древесного угля, на который влияют экологические условия территории – рельеф, характер растительности (Long et al., 1998). Пиковое значение макрочастиц угля отражает первичное отложение древесного угля от «местных» пожаров, т. е. находящихся в пределах от нескольких десятков до сотен метров от пожара (Clark et al., 1998).

Согласно рис. 6, достоверные пики притока древесного угля пришлись на следующие даты: 11600, 11150, 10500, 7800, 5900, 5450, 4600, 1900, 1200 и 250 кал. л. н., т. е. в это время распространение пожаров было максимально близко к точке исследований.

На основании кривой, отображающей временной ряд частоты пожаров (рис. 6, 4), выделены четыре этапа усиления пожарной активности близ болота: I – около 12 000–10 000, II – 8250–7250, III – 6300–4000, IV – 2400 кал. л. н. – по настоящее время (см. рис. 4).

Первый период, характеризующийся высокой частотой пожаров, начался около 12 000 кал. л. н. и длился примерно до 10 000 кал. л. н. (рис. 6).

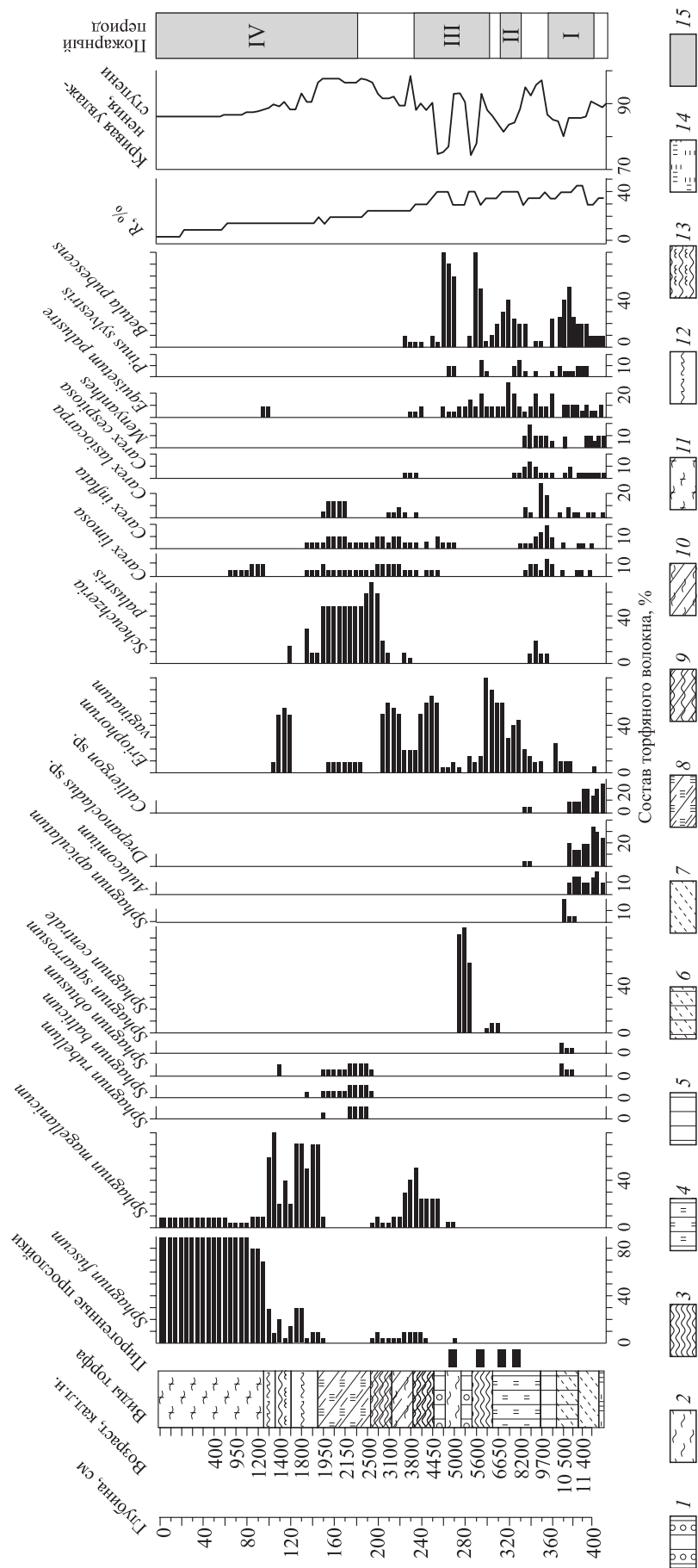


Рис. 4. Стратиграфия торфяной залежи Зогино, ВБ7-3, состав растений-торфообразователей, степень разложения торфа, экологическая кривая увлажнения и сигналы пожарной активности в голоцене.
 Низинные виды торфа: 1 – березовый, 2 – сфагновый, 3 – пушицевый, 4 – древесно-травяной, 5 – древесно-сфагновый, 6 – древесно-гипновый, 7 – гипновый; переходные виды торфа: 8 – шейхериевый, 9 – пушицевый, 10 – сфагновый, 11 – фускум-горф, 12 – мелкум-горф, 13 – пушицевый, 14 – пушицевый, 15 – органиноминеральный остаток, 15 – пожарные периоды.

Таблица 2. Характеристика пирологических прослоек и время пожаров

Глубина, м	Растения-торфообразователи, %	Вид торфа	Степень увлажнения (Раменский и др., 1956)	Возраст, кал. л. н. (2 s)
2.65	Кора и древесина березы (<i>Betula L.</i>) – 60, кора сосны (<i>Pinus L.</i>) – 10, хвощ (<i>Equisetum L.</i>) – 5, пушица (<i>Eriophorum L.</i>) – 10, сфагновые мхи (<i>Sphagnopsida Ochyra</i>) – 10	Березовый	76.8	4890 ± 45
2.90	Кора и древесина березы – 50, кора сосны – 15, хвощ – 20, пушица – 15.	»	77.7	5610 ± 52
3.15	Кора и древесина березы – 40, пушица – 30, хвощ – 30	Древесно-травяной	81.7	7030 ± 50
3.25	Пушица – 45, кора и древесина сосны и березы – 35, осоки (<i>Carex L.</i>) – 10, хвощ – 10.	То же	84.3	7790 ± 53

Фоновая скорость аккумуляции макрокопических частиц угля в этот период не достигала 5 частиц/(см² · год) (см. рис. 5, а), наибольший фоновый приток пришелся на время 10 500–9700 кал. л. н. В этот период отмечено три достоверных пика (три пожарных эпизода): 11 600, 11 150 и 10 500 кал. л. н. (рис. 6). Под пожарным эпизодом понимается пожар и/или серия пожаров в радиусе до 3 км от объекта исследования (Higuera, 2009).

Как показал ботанический анализ торфа (см. рис. 4), растительный покров на начальной стадии развития болота претерпел ряд эндогенных

смен, направленных в сторону усиления лесообразовательного процесса. Древесно-гипновый, березовый, древесно-травяной и древесно-сфагновый виды торфа (интервал глубин 3.95–3.55 м, время – 11 590–9890 кал. л. н.) и невысокое значение степени увлажнения (85–90-е ступени, согласно шкале Л. Г. Раменского и соавт. (1956), сыролуговое и болотно-луговое увлажнение) свидетельствуют о том, что в доголоценовое и раннеголоценовое время здесь были развиты древесно-травяные, древесно-моховые и лесные фитоценозы. Климат этого отрезка времени был континентальным, относительно сухим

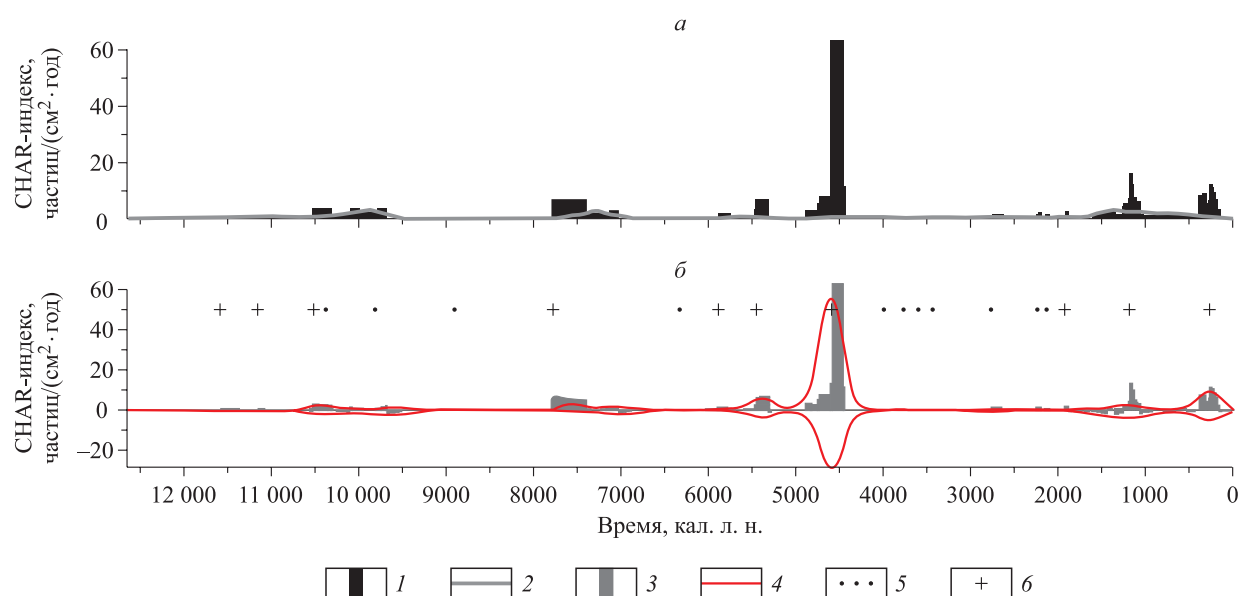


Рис. 5. Скорость аккумуляции частиц угля (CHAR-индекс), фоновые и пороговые значения CHAR-индекса, пожарные эпизоды в голоцене по данным изучения макрочастиц угля в торфяной колонке «Зотино, ВБ7-3».

а – $C_{\text{интерполированное}}$ и $C_{\text{фоновое}}$, определяемые 500-летними трендами; б – $C_{\text{пиковое}}$ ($C_{\text{интерполированное}} - C_{\text{фоновое}}$), пороговые уровни, определяющие $C_{\text{шумовое}}$ и достоверные пики притока. 1 – контуры интерполированного притока древесного угля; 2 – смоделированный фоновый приток древесного угля, шт./(см² · год); 3 – пики древесного угля (разность интерполированного значения притока и фонового значения притока); 4 – пороговый уровень; 5 – истинный или достоверный пик древесного угля, т. е. приток частиц угля, превышающий фоновый приток; 6 – пики, не превышающие пороговые значения, отображаются в виде серых точек.

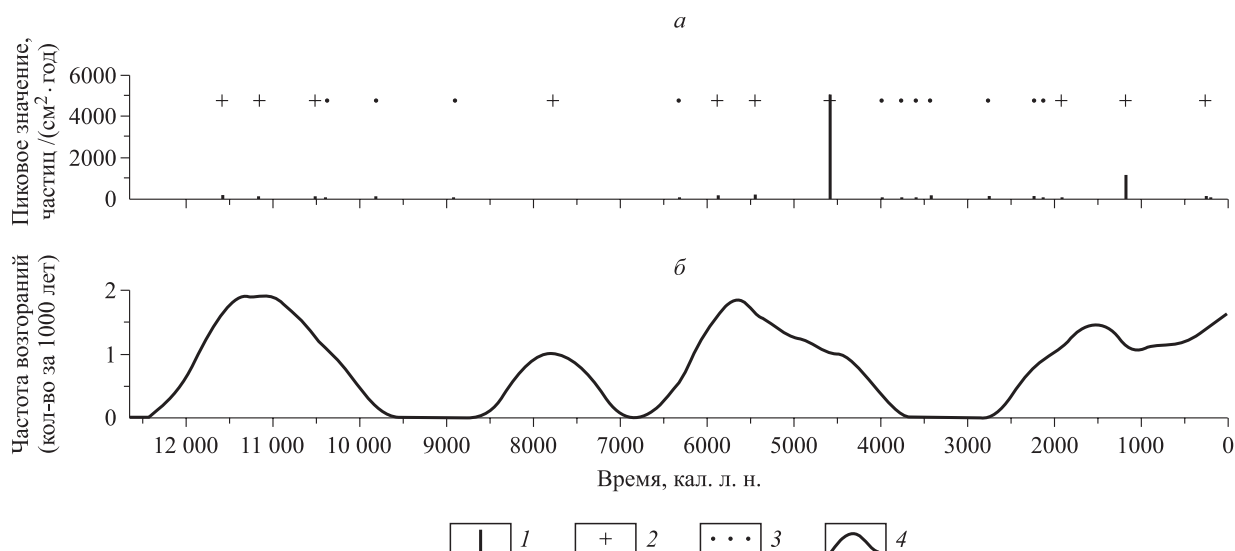


Рис. 6. Достоверные пики притока древесного угля и временной ряд частоты пожаров.

1 – максимальное содержание частиц угля, выпавшее на 1 см² в год (пиковое значение); 2 – все истинные пики угля (пожарные эпизоды, которые были в близкой локализации к месту исследования); 3 – пики, не соответствующие пороговым значениям; 4 – временной ряд частоты пожаров.

и теплым, т. н. Таймырское потепление (Кинд, 1974). Он характеризуется январскими и июльскими температурами воздуха выше современных на 2–3 °С, а также сокращением количества осадков на 100 мм в холодный период и на 70 мм – в теплый (Кошкарлов, Кошкарлова, 2003). Сокращение осадков, вероятно, способствовало пожарной обстановке, что нашло отклик в первом пожарном эпизоде – 11600 кал. л. н.

Наибольший фоновый приток макрочастиц угля, отмеченный во время 10 500–9700 кал. л. н. (см. рис. 5, а) и пик в 10 500 кал. л. н. (см. рис. 5, б), может быть откликом на первое раннеголоценовое потепление (10 300–9800 л. н.). Этот период времени в Приенисейской Сибири характеризуется повышением суммы среднемесячных температур за вегетационный период не менее чем на 8–10 °С по сравнению с современной (Кошкарлов, Кошкарлова, 2003).

Между первым и вторым периодами высокой пожарной активности выделяется интервал времени (9890–8500 кал. л. н.), характеризующийся отсутствием фонового притока макрочастиц угля. В это время на болоте в составе растительности сократилась доля древесных и началось развитие разнотравно-осоковых сообществ с осоками топяной (*Carex limosa* L.), носиковой (*C. rostrata* Stokes), волосистоплодной (*C. lasiocarpa* Ehrh.), дернистой (*C. cespitosa* L.) при болотном увлажнении (до 95–97-й ступени). Этот отрезок голоцена известен как Питско-Игаркинское похолодание (Кинд, 1974). Возможно, слабая пожарная активность или полное

отсутствие пожаров на суходолах, окружающих болото, были связаны с прохладным и влажным климатом этого периода времени.

Второй период высокой пожарной активности длился с 8250 по 7250 кал. л. н., его начало пришлось на так называемое «сухое похолодание», широко известное для Северного полушария (Bond et al. 2001; Mayewski et al. 2004). Фоновый приток макрочастиц угля был аналогичен первому периоду и не превышал пяти частиц на 1 см² в год. Отмечен пожарный эпизод около 7800 кал. л. н., произошедший непосредственно на болоте, на что указывает пиковая величина до 6000 частиц (рис. 6), и наличие пирогенных прослоек в стратиграфии торфяной залежи (см. табл. 2). По нашему мнению, пожар на болоте был средней или низкой интенсивности (так как анатомическая структура растений-торфообразователей в пирогенных прослойках хорошо идентифицируется). В результате пожара частично сгорел только кустарничково-моховый покров. Согласно результатам ботанического анализа торфа, пожару предшествовало снижение общей увлажненности на болоте (ступень 81–83 – сырлуговое увлажнение), восстановление древесного яруса и резкое снижение доли осок. После пожара нарастающее стабильное положение в составе растительного покрова занимает пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.). В ряде публикаций (Гришуткин, 2012; Напреенко-Дорохова, Напреенко, 2015; Бляхарчук и др., 2021) отмечается, что пушица влагалищная – один из первых видов, который

массово заселяет участки болот, пройденные пожарами, в том числе и довольно обводненные.

Третий пожарный период, длившийся с 6300 до 4000 кал. л. н. (3.05–2.35 м), включает три пожарных эпизода – 5900, 5450 и 4600 кал. л. н. (см. рис. 5, б, 5). Приток макрочастиц угля на протяжении первой половины периода аналогичен предыдущим, в конце периода (около 4600 кал. л. н.) отмечен резкий рост поступления частиц с пиковым значением до 5000 частиц/(см² · год) (рис. 6). Маломощные слои березового торфа в интервале глубин 295–285 см и 270–260 см свидетельствуют о том, что на болоте дважды происходило возобновление березовых древостоев (волокно торфа на 65–70 % образовано остатками древесины и коры березы и сосны). Лесная стадия развития болота также дважды была прервана пожарами – во время 5610 и 4890 кал. л. н. Как отмечалось М. А. Софроновым и А. В. Волокитиной (1986), несмотря на то что болота относятся к классу с редкой повторяемостью пожаров, в случае атмосферной засухи могут появиться благоприятные условия для их возникновения. По данным авторов, при опускании уровня грунтовых вод (УГВ) на 0.5–0.8 м происходит высыхание торфяного горизонта (содержание влаги менее 200 %). В нашем случае значение влажности (74–75-я ступень) показывает, что увлажненность болота в эти отрезки голоцена была наименьшей за всю историю его формирования. В периоды, близкие к пожарным эпизодам, в составе растительного покрова болота отмечено появление, порой в значительном количестве, сфагнового мха. Так, в интервале глубин 3.10–3.00 м (6650–5900 кал. л. н.) сфагнум центральный (*Sphagnum centrale* С. Е. О. Jensen), который произрастает на кочках и микроповышениях, занимал 10 % покрытия, а в интервале глубин 2.85–2.70 м (5460–5030 кал. л. н.) он уже доминирует в растительном покрове болота (60–90 %). Как отмечалось ранее (Софронов, Вакуров, 1981; Валендик, 1990), в сильные засухи, когда болото пересыхает, сфагновый мох, подстилка и торф могут быть проводниками огня.

Необходимо отметить, что известный для голоцена суббореальный термический максимум (3700–3000 кал. л. н.), нашедший отклик в некоторых палеоархивах Приенисейской Сибири, в том числе и пожарными сигналами (Кошкар, Кошкар, 2003; Гренадерова и др., 2021), в торфяной залежи «Зотино, ВБ7-3» отмечен пиками, которые не соответствуют пороговым значениям (рис. 6, 3). Следовательно, в этот период

времени на суходолах, окружающих болото, не было пожаров или они были очень слабыми. Отсутствие пироженных прослоек в верхней части торфяной залежи, сформированной в позднеголоценовое время, свидетельствует о том, что в это время и на болоте не было пожаров, что можно объяснить высоким УГВ по сравнению с предыдущим периодом (90–92-я ступени – болотно-луговое увлажнение).

Четвёртый пожарный период продолжался с 2400 кал. л. н. и до настоящего времени. Он включал три пожарных эпизода: 1900, 1200 и 250 кал. л. н., характеризуется низким, но стабильным фоновым притоком макрочастиц угля. Пожарный эпизод 1200 кал. л. н. отличается высоким значением пиковой величины – около 1000 частиц/(см² · год) (рис. 6). Причиной высокой пожарной активности мог стать континентальный климат малого климатического оптимума голоцена – XIII–VIII вв. (Хотинский, 1977). Заключительный пожарный эпизод на суходолах, окружающих исследованное болото, имел место около 250 кал. л. н. Его причиной мог быть антропогенный фактор. Так, по данным М. Ф. Елизарьевой (1964), ягельные боры в недалеком прошлом активно использовались местным населением (кетами, эвенками) в качестве пастбищ для оленей, что приводило к пожарам, которыми были охвачены большие площади в правобережье нижнего течения р. Дубчес. Сухостой сосны с пожарными подсушинами на болоте свидетельствует о том, что и в современное время в годы с исключительно высокой степенью засухи беглые низовые пожары захватывали периферийную часть исследованного болота, но они не смогли оказать существенного влияния на его развитие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе стратиграфии, радиоуглеродного датирования содержания макроскопических частиц угля и пирологических прослоек в торфяной залежи реконструирована долговременная динамика (аллеред-субатлантика) локальных пожаров в долине нижнего течения р. Дубчес.

Реконструировано четыре периода, которые характеризуются наибольшей частотой возгораний: около 12 000–10 000, 8250–7250, 6300–4000, 2400 кал. л. н. – по настоящее время. Установлено, что локальные пожары имели место как в раннем, так и в позднем голоцене. Однако наибольшей пожарной активностью, отмеченной максимальным фоновым притоком макрочастиц

угля в торфяные отложения, отличаются аллеред, предбореал, начало бореала и атлантика. Об этом свидетельствуют семь зафиксированных пожарных эпизодов, которые пришлось на следующие даты: 11 600, 11 150, 10 500, 7800, 5900, 5450, 4600 кал. л. н. Отмечено, что повышенная пожарная активность была тесно связана с сухими климатическими условиями этих временных отрезков голоцена. В суббореальный период пожарная активность снизилась, о чем свидетельствует низкое обилие макроугольков в торфяной колонке. В субатлантическом периоде отмечено три пожарных эпизода: 1900, 1200 и 250 кал. л. н., последний из которых мы связываем с антропогенным фактором.

Низовые пожары слабой и средней интенсивности на болоте в конце бореального и в атлантический периоды способствовали активизации лесообразовательного процесса. Причиной этого, как отмечали ранее Т. Т. Ефремова и С. П. Ефремов (1994), является значительное уплотнение торфяного горизонта, «что сопровождается возрастанием общих запасов золы и биогенных элементов», способствуя тем самым «евтрофикации экотопа». По мнению авторов, в результате зазольнения торфяной почвы «в первом десятилетии после пожара отмечается стадия пушистоберезовой чащи с некоторой долей участия новых зарослей» (с. 28).

В суббореальном и субатлантическом периодах после олиготрофизации и поднятия уровня грунтовых вод произошла гибель березового и возобновление соснового древостоя, замыкающего цикл развития болота.

Проведенные исследования могут служить еще одним подтверждением уже существующих представлений о том, что повышенная пожарная активность, выраженная увеличением концентрации частиц угля в торфяных и озерных отложениях, связана с наиболее сухими климатическими условиями раннего и среднего голоцена. Торфяная колонка «Зотино, ВБ7-3» имеет очень древний возраст $11\ 802 \pm 52$ кал. л. н. и поэтому может являться эталонным разрезом для различных палеорекопструкций в средней тайге Западной и Приенисейской Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бляхарчук Т. А., Дегтярева М. А., Харденбрук М. ван. Голоценовая динамика лесных пожаров по данным макроуголькового анализа донных отложений болотного озера в окрестностях научной станции «Мухрино», Ханты-Мансийский автономный округ // Западно-

Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее. Материалы Шестого Международного полевого симпозиума. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2021. С. 161–163.

Валендик Э. Н. Борьба с крупными лесными пожарами. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 193 с.

Волкова В. С., Левина Т. П. Растительность голоцена Западной Сибири по палинологическим данным // Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1982. С. 188–192.

Глебов Ф. З. Взаимоотношения леса и болота в таежной зоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 184 с.

ГОСТ 28245-89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. М.: ФГУП Стандартинформ, 2006. 7 с.

Гренадерова А. В., Мандрыка П. В., Сяокунь В., Сенотрусова П. О., Михайлова А. Б., Цянькунь Ц. Комплексные археолого-палеоэкологические исследования голоценового хроноряда в южной тайге Среднего Енисея // Stratum plus. Археология и культурная антропология. 2021. № 6. С. 299–313.

Гришуткин О. Г. Влияние пожаров 2010 года на болотные экосистемы Мордовского государственного природного заповедника // Тр. Мордов. гос. природ. заповед. им. П. Г. Сидовича. 2012. Вып. 10. С. 261–265.

Громцев А. Н. Основы ландшафтной экологии европейских таежных лесов России. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2008. 238 с.

Давыденко Э. П. Охрана лесов от пожаров в США // Лесн. хоз-во. 1999. № 5. С. 46–49.

Елизарьева М. Ф. К изучению растительности низовьев р. Дубчеса (левого притока р. Енисея) // Растительный покров Красноярского края. Вып. 1. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. С. 48–64.

Ефремова Т. Т., Ефремов С. П. Торфяные пожары как экологический фактор развития лесоболотных экосистем // Экология. 1994. № 5. С. 27–34.

Залесов С. В. Лесная пирология: учеб. пособ. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. 296 с.

Иванова Г. А., Конард С. Г., Макарае Д. Д. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.

Инишева Л. И. Торфяные почвы: их генезис и классификация // Почвоведение. 2006. № 7. С. 781–786.

Карпенко Л. В., Прокушкин А. С. Генезис и история послеледникового развития лесного болота в долине р. Дубчес // Сиб. лесн. журн. 2018. № 5. С. 33–44.

Карпенко Л. В., Прокушкин А. С. Реконструкция пожаров в девственных лесах на междуречье Сым-Дубчес в голоцене // Сиб. лесн. журн. 2019. № 5. С. 61–69.

Кинд Н. В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука, 1974. 255 с.

Кошкарлова В. Л., Кошкарлова В. Л. Развитие природной среды бассейна р. Кас в послеледниковый период // Палеогеография Средней Сибири. Красноярск: Краснояр. гос. ун-т, 2003. Вып. 3. С. 38–43.

Кошкарлова В. Л. Семенные флоры торфяников Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 121 с.

Курбатский Н. П. О механизме возникновения лесных пожаров от молний // Лесоведение. 1976. № 3. С. 95–98.

Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 356 с.

- Напреенко-Дорохова Т. В., Напреенко М. Г. Развитие природного комплекса Целау (по данным строения торфяной залежи) // Вестн. Балт. фед. ун-та им. И. Канта. 2015. № 1. С. 50–64.
- Нейштадт М. И. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 404 с.
- Пьявченко Н. И. Степень разложения торфа и методы ее определения. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1963. 55 с.
- Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижииков О. Н., Антипин Н. А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1956. 472 с.
- Софронов М. А., Вакуров А. Д. Огонь в лесу. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. 128 с.
- Софронов М. А., Волокитина А. В. Пожары в заболоченных лесах Западной Сибири // Гидроморфные лесоболотные экосистемы. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1986. С. 139–150.
- Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
- Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии: Опыт трансконтин. корреляции этапов развития растительности и климата. М.: Наука, 1977. 197 с.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
- Ямских Г. Ю., Карпенко Л. В., Гренадерова А. В. Реконструкция сукцессий растительности и палеогидрологического режима болот (на примере торфяника в долине реки Касс) // Геогр. и природ. ресурсы. 2004. № 4. С. 128–134.
- Blaauw M. Methods and code for «classical» age-modelling of radiocarbon sequences // Quatern. Geochron. 2010. V. 5. Iss. 5. P. 512–518.
- Bond G., Kromer B., Beer J., Muscheler R., Evans M. N., Showers W., Hoffman S., Lotti-Bond R., Hajdas I., Bonani G. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene // Science. 2001. V. 294. P. 2130–2136.
- Clark J. S. Particle motion and the theory of charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling // Quatern. Res. 1988. N. 30. Iss. 1. P. 67–80.
- Clark J. S., Lynch J. A., Stocks B. J., Goldammer J. G. Relationships between charcoal particles in air and sediments in west-central Siberia // The Holocene. 1998. V. 8. Iss. 1. P. 19–29.
- Clark R. L. Point count estimation of charcoal in pollen preparations and thin sections of sediments // Pollen and Spores. 1982. V. 24. P. 523–535.
- Edwards M. E., Hardenbroek M. van, Anderson P. M., Bigelow N. H. Palaeoenvironmental records from Siberia and the Russian Far East – contributions from DIMA Network members – Introduction // Boreas. 2021. V. 50. P. 916–918.
- Higuera P. E., Peters M. E., Brubaker L. B., Gavin D. G. Understanding the origin and analysis of sediment-charcoal records with a simulation model // Quatern. Sci. Rev. 2007. V. 26. P. 1790–1809.
- Higuera P. E. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Montana St. Univ., Bozeman, MT, USA, 2009. 27 p.
- Loope L. L., Gruell G. E. The ecological role of fire in the Jackson Hole area, Northwestern Wyoming // Quatern. Res. 1973. V. 3. Iss. 3. P. 425–443.
- Long C. J., Whitlock C. L., Bartlein P. J., Millsbaugh S. H. A 9000-year fire history from the Oregon Coast Range, based on a high-resolution charcoal study // Can. J. For. Res. 1998. V. 28. P. 774–787.
- Mayewski P. A., Rohling E. E., Stager J. C., Karlén W., Maasch K. A., Meeker L. D., Meyerson E. A., Gasse F., Kreveld S. van, Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R. Holocene climate variability // Quatern. Res. 2004. V. 62. Iss. 3. P. 243–255.
- Mikhailova A. B., Grenaderova A. V., Kurina I. V., Shumilovskikh L. S., Stojko T. G. Holocene vegetation and hydroclimate changes in the Kansk forest steppe, Yenisei River Basin, East Siberia // Boreas. 2021. V. 50. Iss. 4. P. 948–966.
- Peters M. E., Higuera P. E. Quantifying the source area of macroscopic charcoal with a particle dispersal model // Quatern. Res. 2007. V. 67. P. 304–310.
- R Core Team R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2013. 437 p.
- Steinhof A., Altenburg M., Machts H. Sample preparation at the Jena ¹⁴C laboratory // Radiocarbon. 2017. V. 59. N. 3. P. 815–830.

RECONSTRUCTION OF HOLOCENE LOCAL FIRES ACCORDING TO THE MACROCHARCOALS CONTENT FROM THE PEAT DEPOSITS IN THE DUBCHES RIVER VALLEY

L. V. Karpenko¹, A. V. Grenaderova², A. B. Mikhailova², O. V. Podobueva²

¹ V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

² Siberian Federal University
Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation

E-mail: karp@ksc.krasn.ru, agrenadyorova@sfu-kras.ru, arodionova@sfu-kras.ru, olga.podobueva@mail.ru

The results of the local fires reconstruction based on the stratigraphic analysis of the peat deposit in the right-bank part of the Dubches River valley (middle taiga of the Yenisei Siberia) in the Holocene are presented. The object of research was the raised pine-shrub-sphagnum bog with a well-developed tree layer with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The deposit thickness was 4.15 m, its age was interpreted by 11 radiocarbon dates. The bottom peat layer age was 11802 ± 52 ¹⁴C years ago. In a peat core at depths of 3.25, 3.15, 2.90, 2.65 m, traces of fires were found in the form of pyrogenic layers. Reconstruction of the fire dynamics was carried out according to the method of counting macroscopic particles of charcoal “Charcoal”. The time, periodicity and intensity of fires on dry areas surrounding the bog have been established. Four periods were identified in the dynamics of local fires: about 12000–10000, 8250–7250, 6300–4000, 2400 cal. a BP (calibrated age before present). The reliable peaks of charcoal inflow occurred on the following dates: 11600, 11150, 10500, 7800, 5900, 5450, 4600, 1900, 1200 and 250 cal. a BP. It is noted that the highest fire activity was observed in the early Holocene, as evidenced by the increased content of macrocharcoals in peat. The main cause of the fires was probably the abnormally dry spring-summer seasons due to the dry and warm climate. The bog was traversed by fire during: 7790, 7030, 5610 and 4890 cal. a BP. The pyrogenic destruction of peat was minimal, which indicated a weak or medium intensity of the peat fire. Fires in the bog contributed to the activation of the forest formation process. In the late Holocene, the effect of fires on the bog ceased and forest phytocenoses were replaced by heavily watered ridge-hollow complexes.

Keywords: mire, macrocoal analysis, pyrogenic layers, charcoal inflow peaks, fire dynamics.

How to cite: Karpenko L. V., Grenaderova A. V., Mikhailova A. B., Podobueva O. V. Reconstruction of Holocene local fires according to the macrocharcoals content from the peat deposits in the Dubches river valley // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 4. P. 3–13 (in Russian with English abstract).