

Угольные макрочастицы в донных отложениях озер Центрально-Тунгусского плато (Сибирь, Эвенкия) как индикатор динамики лесных пожаров и возможный след Тунгусской катастрофы 1908 г.

Д. Ю. РОГОЗИН^{1, 2}, Г. Н. БОЛОБАНЩИКОВА², Л. А. БУРДИН¹, А. В. МЕЙДУС³

¹Институт биофизики СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 50

²Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79
E-mail: rogozin@ibp.ru

³Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева
660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89

Статья поступила 24.12.2021

После доработки 25.01.2022

Принята к печати 28.01.2022

АННОТАЦИЯ

В донных отложениях озер Чеко и Заповедное, расположенных в южной части Эвенкийского района (Красноярский край), проанализированы распределения частиц древесных углей размером более 100 мкм, предположительно являющихся следами лесных пожаров на прилегающей территории. Показано, что фоновое содержание угольных частиц в отложениях возрастом до 1500 лет назад не было меньше, чем в отложениях новейшего периода. Тем самым получено свидетельство, что интенсивность пожаров в окрестностях исследуемых озер в прошлом не была меньше, чем в настоящее время, а в период XVI–XVIII вв., – возможно, была даже выше. Таким образом, утверждение о резком увеличении лесных пожаров в новейшее время не подтверждается для данной территории, что, вероятно, обусловлено отсутствием хозяйственной деятельности из-за крайне малой заселенности. В отложениях оз. Чеко, соответствующих времени Тунгусской катастрофы 1908 г., выявлен локальный максимум содержания угольных частиц, предположительно являющийся следом обширного лесного пожара, возникшего в момент катастрофы.

Ключевые слова: лесные пожары, угольные частицы, донные отложения, озеро Чеко, Эвенкия, Тунгусская катастрофа 1908.

Лесные пожары несут угрозу природным экосистемам и существенно ухудшают условия жизни людей, населяющих прилегающие регионы. Кроме того, пожары в глобальном масштабе являются источником поступле-

ния CO₂ в атмосферу, усиливая парниковый эффект [Marlon, 2020]. В свою очередь климатические изменения могут влиять на частоту пожаров. В частности, показано, что интенсивность пожаров, реконструированная

по озерным отложениям, повторяет профиль CO_2 , реконструированный по ледовым кернам, однако остается неясным, что здесь является причиной, а что – следствием [Xue et al., 2018].

Одним из регионов с высокой интенсивностью пожаров является таежная зона Центральной Сибири. Здесь лесные пожары являются частым явлением, и обусловлены они как антропогенными факторами, так и причинами климатического характера – засушливым летом и сухими грозами. Однако на труднодоступных незаселенных территориях, где не ведется вырубка леса, а также отсутствует активный туризм и промысел, вклад антропогенного фактора, по-видимому, незначителен. В свою очередь, климатические факторы могут варьировать как в межгодовом, так и в более длительном масштабе, что существенно влияет на количество и интенсивность пожаров.

Для территории Центрально-Тунгусского плато характерны отчетливо выраженные периоды летней засухи и сильные лесные пожары [Васильев и др., 2003], которые несут угрозу природным биоценозам и существенно ухудшают условия жизни местного населения из-за задымления атмосферы. Предположительно, основной естественной причиной возгораний в период летней засухи здесь являются “сухие” грозы.

Таким образом, прогноз пожарных обстановок при различных климатических сценариях представляет собой чрезвычайно актуальную задачу для данной территории. В свою очередь для адекватного прогноза необходима информация о частоте и интенсивности пожаров в прошлом. Кроме того, сравнительная оценка вклада климатических и антропогенных факторов в современную пожарную обстановку может быть сделана на основе сравнения с прошлыми периодами, реконструированными по природным архивам [Marlon, 2020].

Донные отложения глубоких озер являются одними из лучших “архивов” природных событий и климатических изменений. Частицы древесного угля (charcoal particles), являющиеся результатом горения растительности, сохраняются в озерных отложениях, торфяниках, ледовых кернах и т. д. в течение длительного времени и широко исполь-

зуются в палеореконструкциях в качестве индикатора интенсивности пожаров [Marlon, 2020]. Показано, что микрочастицы угля (менее 100–125 мкм) отражают региональный фон пожаров на обширной территории, тогда как макрочастицы (более 100 мкм) – локальную пожарную обстановку в окрестности данного озера [Anderson, Wahl, 2016].

Исследования, направленные на палеореконструкцию пожарных режимов, активно ведутся во всех регионах мира, однако именно Сибирь является в этом отношении одной из наименее изученных территорий, несмотря на то что именно здесь сосредоточена основная масса бореальных лесов планеты и именно здесь в настоящее время наблюдается высокая интенсивность лесных пожаров. К настоящему времени существует относительно много палеоклиматических реконструкций по югу Западной Сибири и Алтае-Саянской складчатой области [Krivonogov et al., 2012; Rudaya et al., 2012; Zhang, Feng, 2018; и мн. др.], Якутии и Забайкалью [Bezrukova et al., 2010; Fedotov et al., 2012; Nazarova et al., 2013; и др.], однако в этих работах отсутствуют данные по индикаторам пожаров. В недавней работе Рудой с соавторами показана динамика пожаров в степных районах Алтая (Кулунда) в голоцене [Rudaya et al., 2020]. Обширный регион Средней Сибири к востоку от р. Енисей является до сих пор “белым пятном” на палеолимнологической и палеоклиматической карте, в первую очередь – из-за его труднодоступности. Центрально-Тунгусское плато находится прямо в центре большой территории, почти не изученной с точки зрения палеоклимата, а соответственно – нет опубликованных данных по индикаторам пожаров. Все опубликованные к настоящему времени палеоклиматические реконструкции голоцена Сибири выполнены на озерах, расположенных в радиусе не менее 800 км от точки наших исследований, как в меридиональном, так и в широтном направлении, и принадлежат к другим климатическим зонам.

Район нашего исследования интересен еще и тем, что здесь в 1908 г. произошла так называемая Тунгусская катастрофа – мощный атмосферный взрыв неизвестной природы (“Тунгусский метеорит”), последствием которого стал обширный вывал древостоя

и лесной пожар, охвативший площадь около 700 км² [Васильев и др., 2003]. В донных отложениях близлежащих водоемов могли сохраниться повышенные содержания угольных частиц в соответствующих слоях. Эти слои могут служить стратиграфическим маркером 1908 года, поэтому могут быть полезны для уточнения оценки скоростей осадконакопления.

В настоящей работе мы исследовали распределения угольных частиц в донных отложениях двух озер, расположенных в труднодоступной местности вблизи эпицентра Тунгусской катастрофы, с целью оценить интенсивность пожаров в прошлом и сравнить ее с таковой в современный период.

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ

Центрально-Тунгусское плато расположено на Среднесибирском плоскогорье на территории Эвенкийского района Красноярского края. С запада оно ограничено Заангарским плато, на востоке переходит в Приленское плато (Республика Саха-Якутия). Южная граница проходит в районе р. Подкаменная Тунгуска, а с севера плато ограничено р. Нижняя Тунгуска. По территории плато протекает р. Чуня – приток р. Подкаменная Тунгуска. Это относительно низкое туфогенное вулканическое плато на высотах 300–400 м над уровнем моря. Растительный покров на данной территории занимает промежуточное положение между южно-таежными сосновыми и северо-таежными лиственничными лесами. Преобладают смешанные лиственнично-сосновые и березово-сосново-лиственничные древостой с хорошо выраженным кустарниковым ярусом и слабо выраженным травяным покровом [Шумилова, 1962]. Климат данного района резко-континентальный с большими амплитудами суточных и сезонных температур. Годовое количество осадков 380–420 мм, с максимумом в июле–августе. Среднегодовая температура воздуха –6 °С, средняя температура июля +17 °С, однако часто поднимается в дневное время выше +30 °С. Средняя температура января –30 °С, зимой может опускаться до –55 ... –59 °С. Район находится вне зоны влияния влагопереноса от Атлантического и Тихого океанов, поэтому здесь преобладает ясная, солнечная погода. Летом превали-

рует зона пониженного давления со слабыми ветрами [Васильев и др., 2003].

Озеро Заповедное (60°31.685' с. ш., 101°43.710' в. д.) расположено на Центрально-Тунгусском плато в южной части Эвенкийского муниципального района Красноярского края, на границе территории Государственного природного заповедника “Тунгусский”, в 40 км к северо-западу от ближайшего населенного пункта пос. Ванавара и примерно в 60 км к юго-западу от эпицентра Тунгусской катастрофы 1908 (рис. 1). Котловина озера находится в долине р. Верхняя Лакура, притока р. Подкаменная Тунгуска, впадающей в р. Енисей. Озеро имеет почти круглую форму диаметром около 350 м, максимальная глубина (56 м) расположена вблизи геометрического центра водоема. Дно озера имеет форму правильной конической воронки, если не считать мелководную прибрежную зону. С северо-западной оконечности в озеро впадает р. Верхняя Лакура, она же вытекает из него с юга (см. рис. 1).

Озеро Чеко (60°57.904' с. ш., 101°51.551' в. д.) расположено в северной части заповедника “Тунгусский” (Эвенкийский район Красноярского края), в 70 км от пос. Ванавара (см. рис. 1). Озеро является проточным водоемом овальной формы, размером примерно 350 × 600 м и максимальной глубиной около 54 м. В озеро впадает р. Кимчу, приток р. Чуня, впадающей в р. Подкаменная Тунгуска. Она же вытекает из озера недалеко от места впадения. Озеро Чеко неоднократно привлекало к себе внимание исследователей, поскольку расположено в непосредственной близости (8 км) от предполагаемого эпицентра Тунгусской катастрофы 1908 г. Итальянскими исследователями было высказано предположение, что озеро является кратером от осколка “Тунгусского метеорита” [Gasperini et al., 2007, 2009], однако наши данные эту гипотезу не подтверждают: анализ возраста донных отложений показал, что озеро старше Тунгусской катастрофы [Рогозин и др., 2017].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Из оз. Заповедное серии кернов отбирали дважды – в марте 2015 г. со льда и в июле 2018 г. с надувной лодки, вблизи точки с коор-

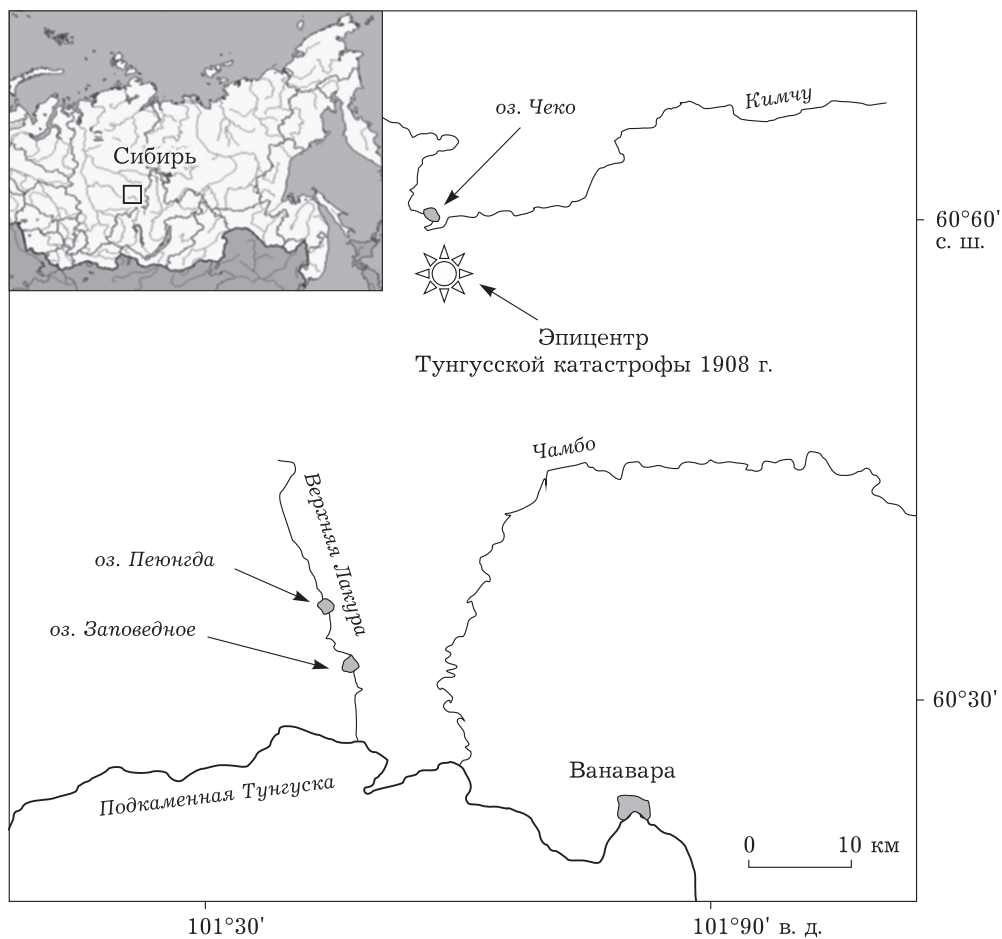


Рис. 1. Географическое положение исследуемых озер

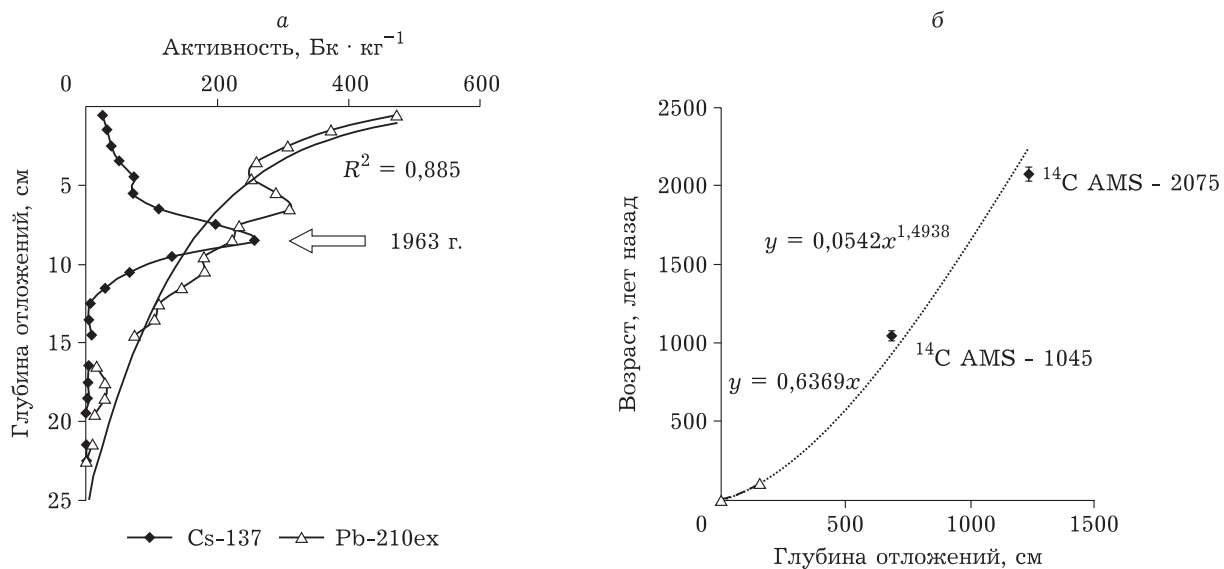


Рис. 2. Вертикальные распределения активности ^{137}Cs и ^{210}Pb (а) и возрастная модель и радиоуглеродные датировки (б) донных отложений оз. Заповедное

динатами 60°31.685' с. ш., 101°43.710' в. д. В настоящей работе мы анализировали образцы из обеих серий (см. далее). Из оз. Чеко керн отбирали в июне 2016 г. с надувной лодки в точке с координатами 60°57.904' с. ш., 101°51.551' в. д. Точки отбора располагались вблизи мест наибольшей глубины в центральной части обоих озер. Керны отбирали с помощью гравитационного пробоотборника UWITEC (Австрия) со съёмными пластиковыми рабочими трубами диаметром 90 мм, при этом использовали прозрачные трубы, чтобы граница “вода – дно” была отчетливо видна невооруженным глазом для гарантии целостности верхних слоев. Керны транспортировались на берег в вертикальном положении. На берегу каждую трубу разрезали вдоль и разделяли пополам на две продольные “D-секции” с помощью двух тонких пластин из нержавеющей стали, вставленных в разрез. Затем делались серии цветных фото кернов с закрепленной миллиметровой линейкой. После вскрытия кернов вдоль оси отбора одна половина материала (“D-секция”) разделялась на поперечные образцы (слайсы) с шагом 10 мм. Слайсы помещали в герметичные полиэтиленовые пакеты с выдавленным воздухом и транспортировали в лаборатории для дальнейших анализов, где хранили в темноте при –20 °C.

Скорость осадконакопления в оз. Заповедное оценивали по распределению ^{137}Cs и ^{210}Pb в керне “ЗАП-1” длиной 39 см, отобранном в 2015 г. (см. выше). Процедура и результаты датировки описаны нами ранее в работе А. В. Дарьина с соавт. [2020]. Данный керн был полностью израсходован на датировку и другие анализы, поэтому угольные частицы в настоящей работе мы анализировали в других кернах. Верхние 13 см анализировались в образцах из керна “ЗАП-2018-1”, отобранного в июле 2018 г. Данный керн был идентичен керну “ЗАП-1”, их сходство подтверждалось положением четко различимого глазом светло-кремового слоя толщиной около 5 мм, расположенного на глубине около 16 см. Более глубоко расположенные образцы для анализа угольных частиц были взяты нами из керна “ЗАП-2” длиной 112 см, отобранного в марте 2015 г. У данного керна при отборе была повреждена верхняя часть. Стыковку кернов производили по положению вышеописанного светло-кремового слоя, расположенного

в керне “ЗАП-2” на глубине 3 см. Таким образом, был сделан вывод, что в керне “ЗАП-2” при отборе были утеряны верхние 12 см. Обоснованность такой стратиграфической корреляции была подтверждена совпадением профилей химических элементов, полученных методом РФА-сканирования, а также совпадением профилей влажности на перекрывающихся участках двух кернов.

В двух образцах из керна “ЗАП-2” был определен радиоуглеродный возраст (рис. 2). Радиоуглеродный анализ органического вещества проводился стандартным атомно-масс-спектрометрическим методом в лаборатории Национального университета Тайваня.

Скорость осадконакопления в оз. Чеко оценивали в керне “Чеко-2016-1” длиной 80 см по распределению ^{137}Cs и ^{210}Pb и по подсчету годовых слоев. Процедура и результаты датировки этого керна опубликованы нами ранее [Рогозин и др., 2017]. В настоящей работе оценку угольных частиц осуществляли в образцах из этого же керна. Средняя скорость осадконакопления в оз. Чеко на исследуемом интервале была принята постоянной и составила 4,2 мм год⁻¹.

Анализ угольных частиц проводили на основе методик, описанных в работах [Anderson, Wahl, 2016; Unkelbach et al., 2018]. А именно, некоторое количество влажных донных отложений помещали в центрифужную пробирку с дефлокулирующим раствором (6 % гексаметафосфат натрия). Точный объем каждого образца измеряли по делениям на пробирке минус объем дефлокулирующего раствора. По прошествии не менее трех часов содержимое пробирки просеивали мокрым способом через ткань с размером ячеек 100 мкм (мельничный газ). Полученный остаток выдерживали 1 час в 6 % гипохлорите натрия для отбеливания и снова просеивали через ту же ткань. Остаток помещали в камеру Богорова и просматривали под стереомикроскопом в отраженном свете при 25-кратном увеличении. В связи с тем что донные отложения оз. Заповедное имели однородную структуру, мы сочли нецелесообразным анализировать весь керн с интервалом в 1 см, и поэтому в нижней части объединяли образцы по два. В качестве объектов для сравнения использовали измельченный древесный и активированный уголь. Угольки распознавались

по наличию металлического блеска, острых граней и хрупкости. Количество подсчитанных угольных частиц нормировали на объем влажного образца. Скорость поступления угольков в донные отложения (CHAR, частиц $\text{см}^{-2} \text{год}^{-1}$) рассчитывалась умножением концентрации угольков в образце (частиц см^{-3}) на скорость осадконакопления (см год^{-1}).

Полученный ряд данных (CHAR) разделяли на фоновый уровень ($C_{\text{background}}$) и отдельные пиковые события (C_{peak}) с помощью программы CharAnalysis [<http://CharAnalysis.googlepages.com>, Higuera et al., 2009]. Фоновый уровень отражает усредненную интенсивность горения в регионе, а также процессы переотложения и привноса материала смывом с территории водосбора. Пиковые значения (C_{peak}) интерпретируются как локальные пожары в окрестности озер [Higuera et al., 2009]. Значения, превышающие 95%-й порог распределения фоновых значений (показан пунктиром на рис. 4, 5), интерпретируются как пики, т. е. эпизоды крупных пожаров [Higuera et al., 2009].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Вертикальное распределение ^{137}Cs демонстрировало отчетливый максимум в интервале 80–90 мм (см. рис. 2). Данный максимум интерпретируется нами как 1963 г. (год максимальных выпадений техногенных радионуклидов в результате наземных ядерных испытаний) [Рогозин и др., 2017]. Профиль ^{210}Pb удовлетворительно аппроксимируется экспоненциальной функцией (см. рис. 2), что указывает на постоянные условия седиментации и отсутствие переотложений осадочного материала на данном временном интервале. Однородный характер отложений по всей длине керна свидетельствует об относительно постоянной скорости накопления осадков и отсутствии каких-либо четко выраженных смен состояний озера. Радиоуглеродные даты достаточно хорошо описываются линейной зависимостью, которая при аппроксимации к поверхности дает значение, близкое к нулю (см. рис. 2). Следовательно, резервуарный эффект для данного озера пренебрежимо мал, и его приняли нулевым. Учитывая, что влажность керна снижается с глубиной, мы используем модель, в которой с глуби-

ной годичные интервалы монотонно уменьшаются. Таким образом, в качестве возрастной модели мы применили кусочную аппроксимацию – в верхней части керна до глубины 16 см возраст определяется по линейной зависимости $A = 0,6369 \cdot D$, где D – глубина по керну, мм, а далее используем степенную зависимость $A = 0,0542 \cdot D^{1,4938}$ (см. рис. 2). Предлагаемая модель удовлетворительно описывает все данные радиоизотопных измерений (см. рис. 2). Оцененная таким образом скорость накопления донных отложений в верхних 16 см была принята постоянной – в $1,6 \text{ мм год}^{-1}$, затем с глубиной монотонно уменьшалась до $0,5 \text{ мм год}^{-1}$.

В донных отложениях озер Чеко и Заповедное обнаружены частицы древесных углей различной формы (рис. 3), которые, согласно литературным данным, могут быть интерпретированы как следствия пожаров в непосредственной близости от озер, на окружающей территории в радиусе менее 10 км [Anderson, Wahl, 2016]. Часть угольных частиц имела вытянутую форму, которая интерпретируется как остатки травянистых растений, тонких корней и т. п. [Unkelbach et al., 2018] (см. рис. 3, в правом верхнем углу). В целом их количество было значительно меньше, чем прочих угольков, и положительно коррелировало с количеством угольков в оз. Заповедное ($r = 0,55$; $P < 0,01$), но для оз. Чеко корреляция отсутствовала. Количество угольных частиц колебалось в интервале от первых единиц до двух десятков штук на кубический сантиметр, что приблизительно соответствует количеству, выявленному в других озерах мира аналогичными методами [Unkelbach et al., 2018].

В донных отложениях оз. Заповедное фоновый уровень частиц оставался почти постоянным на протяжении последних 1500 лет, в более древних слоях наблюдалось слабое монотонное снижение (рис. 4). Достоверного увеличения в слоях, соответствующих времени Тунгусской катастрофы 1908 г., не было выявлено. Пики, превышающие фон, обнаружены в слоях 300–400, 1300 и 1700 лет назад.

В отложениях оз. Чеко фоновый уровень был относительно низким последние около 100 лет, однако в слоях, соответствующих возрасту Тунгусской катастрофы 1908 г., наблюдались заметное увеличение фона и пики, достоверно превышающие фон (рис. 5). В более

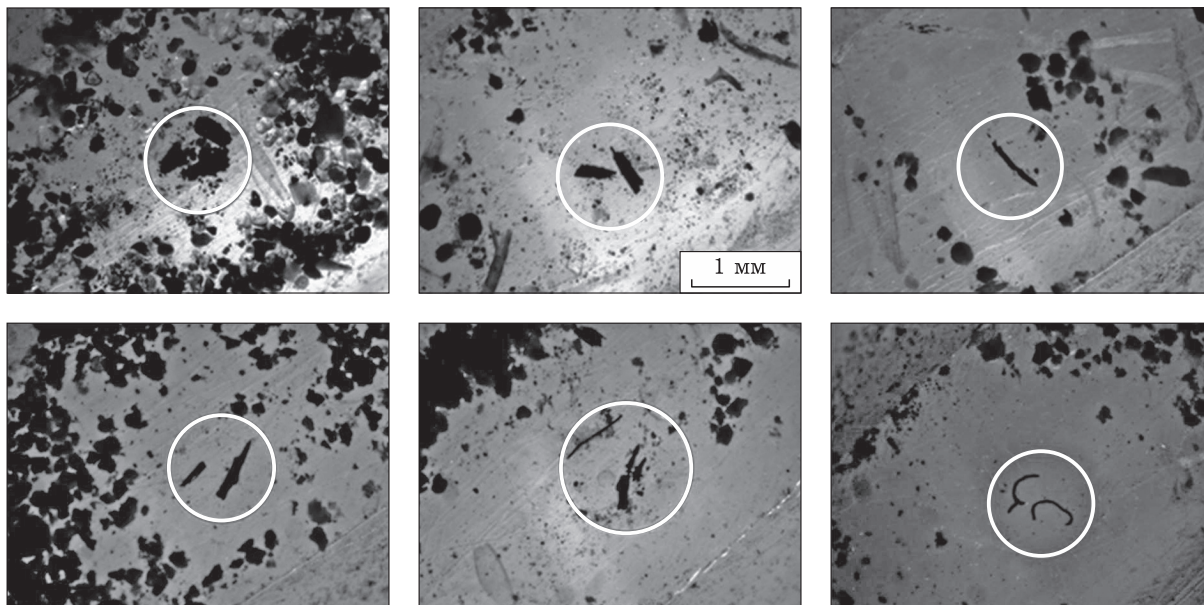


Рис. 3. Типичные формы угольных частиц размером более 100 мкм из донных отложений озер Заповедное и Чеко

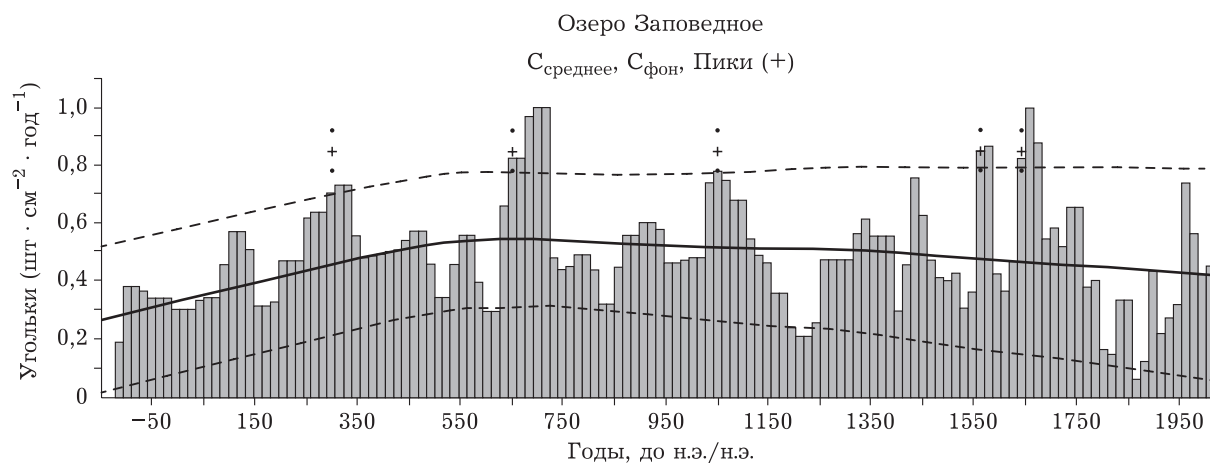


Рис. 4. Динамика потока угольных частиц в донные отложения оз. Заповедное: фоновые (С_{background}) и пиковые (+) значения

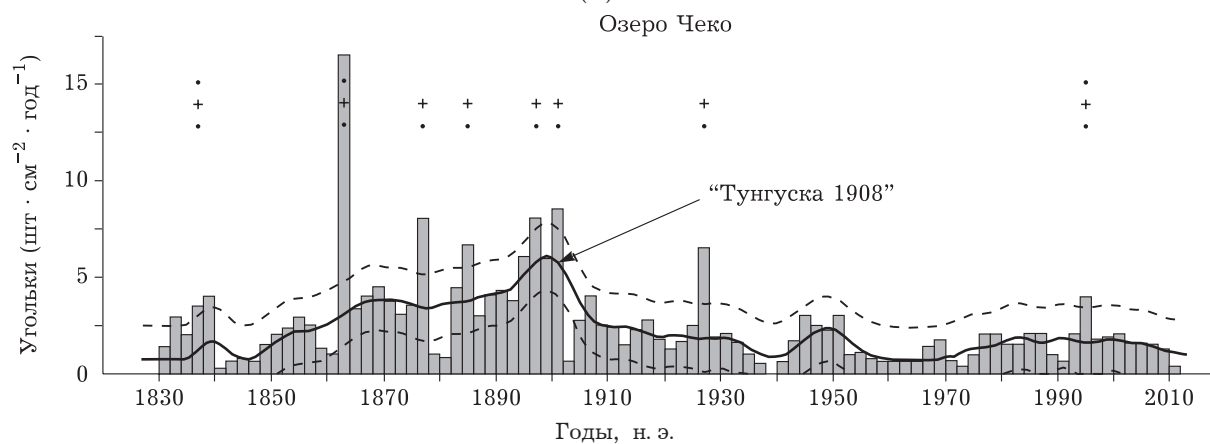


Рис. 5. Динамика потока угольных частиц в донные отложения оз. Чеко: фоновые (С_{background}) и пиковые (+) значения

старых слоях фоновое значение также было выше современного и монотонно снижалось до нижней границы керна, соответствующей возрасту около 180 лет назад.

ОБСУЖДЕНИЕ

По ряду теоретических и экспериментальных оценок в донных отложениях небольших озер (размером около ≤ 20 га) пики частиц размером свыше 100 мкм, достоверно превышающие фон, интерпретируются как следы пожаров на расстоянии менее 500–1000 м от озера [Kelly et al., 2011].

Наши данные показывают, что интенсивность пожаров в окрестности исследованных водоемов не демонстрирует увеличения в современный индустриальный период. А значит, утверждение об увеличении интенсивности пожаров, вызванном современной хозяйственной деятельностью человека на для данной территории, не подтверждается. В целом этот результат несколько контрастирует с большим количеством палеореконструкций по другим регионам мира, где аналогичным методом показано, что современный период характеризуется беспрецедентным увеличением пожаров, особенно начиная с 1980–1990-х годов [Harrison et al., 2010; Feurdean et al., 2020]. В частности, по данным базы Global Charcoal Database (GCD) во многих частях мира показано резкое увеличение содержания угольков в донных отложениях в последние десятилетия [Kelly et al., 2013; Marlon, 2020]. Особенно резкое увеличение отмечено в кернах из озер Северной Америки, Бразилии и Австралии [Marlon, 2020]. На юге Западной Сибири в отложениях оз. Кучук (Кулундинская степь) Рудой с соавторами отмечены повышенные количества угольных частиц в современных отложениях, что контрастирует с нашими данными. В слоях позднего голоцена обнаружены пики около 500 и 1500 лет назад [Rudaya et al., 2020].

Вероятно, отсутствие изменения пожарных режимов на территории Центрально-Тунгусского плато за последние 100 лет можно объяснить крайне низкой заселенностью данной территории, ее труднодоступностью и отсутствием на ней хозяйственной деятельности. Показано неоднократно, что климатические факторы, напрямую не связанные с человече-

ской деятельностью, в сильной степени влияют на пожарные режимы. В частности, в прошлом в периоды значительного повышения температуры усиливалась интенсивность пожаров, и наоборот [Marlon, 2020; и др.]. Наше исследование охватывает относительно короткие промежутки времени, на которых не происходило столь заметных климатических изменений, что подтверждается палеореконструкциями климата голоцена соседних регионов: юга Западной Сибири [Zhang, Feng, 2018], Якутии [Muller et al., 2010], Забайкалья [Bezrukova et al., 2010].

Наличие частых и интенсивных лесных пожаров в прошлом на территории Эвенкии было отмечено в виде больших количеств угольных частиц и обугленных остатков растений в слоях почвы и торфяных болот в районе р. Нижняя Тунгуска, причем наибольшее количество выявлено в слоях возрастом 1600–2400 лет [Koshkarova, Koshkarov, 2005]. Единственная известная палеоклиматическая реконструкция по Эвенкии свидетельствует, что в последнее тысячелетие климат данного региона изменился на более теплый и влажный [Koshkarova, Koshkarov, 2005].

Мы не выявили явных следов аномально сильного пожара 1908 г. в отложениях оз. Заповедное, что, вероятно, объясняется тем, что озеро расположено за пределами территории вывала леса и лесного пожара, вызванных Тунгусской катастрофой [Васильев и др., 2003]. Тем не менее в работе А. В. Дарьина с соавт. [2020] в оз. Заповедное в слоях, соответствующих 1908 г., методом рентгено-флуоресцентного сканирования обнаружены повышенные содержания элементов-индикаторов терригенного обломочного вещества (Ti, Rb, Y, Zr, K, Nb) предположительно как следствие смыва в озеро почв из зоны вывала леса после Тунгусской катастрофы.

В оз. Чеко наблюдается увеличение поступления угольных частиц в период, соответствующий Тунгусскому событию (см. рис. 5). Стоит заметить, что ранее донные отложения оз. Чеко исследовались Гасперини с соавт. [2007, 2009], в том числе было оценено количество угольков размером свыше 250 мкм в образцах керна толщиной 1 см с интервалом 10 см. В большинстве образцов угольки не были обнаружены, но на глубине 50 см найдено большое количество угольков, явля-

ющихся, по мнению авторов, следом крупного пожара [Gasperini et al., 2009]. Авторы не связывают этот пик с Тунгусским событием 1908 г., поскольку, согласно их датировке, время формирования данного слоя соответствует 1950–1960 гг. Однако согласно нашей датировке, которая значительно отличается от датировки Гасперини с соавт. [Рогозин и др., 2017], данный пик очень хорошо соответствует именно времени Тунгусской катастрофы 1908 г. Таким образом, наличие пика на глубине 50 см в керне, исследованном Гасперини с соавт., является косвенным подтверждением справедливости нашей датировки.

В истории изучаемой территории известно несколько крупных пожаров. Так, помимо пожара 1908 г. отмечаются крупные пожары в 1885 и 1985 гг. [Курбатский, 1964; Васильев, Львов, 2003]. В 1994 г. вблизи оз. Чеко был крупный пожар, это зафиксировано на фото в книге Ромейко [2006]. Наши данные скорее демонстрируют постоянный фон, колебания являются шумом. Тем не менее нами зарегистрирован пик поступления угольков, приходящийся примерно на 2000-е годы (см. рис. 5). К сожалению, связать его с каким-либо известным пожаром нам не удалось из-за отсутствия документальных данных. Следует заметить, что при интервале отбора образцов в 1 см отдельные события сглаживаются, поскольку в оз. Чеко интервал глубины донных отложений 1 см соответствует промежутку времени около 2,5 года, а в оз. Заповедном – около 6 лет в верхней части и 22 года в нижней. Более высокая скорость осадконакопления в оз. Чеко объясняется тем, что донные отложения содержат много песка, ежегодно приносимого туда рекой Кимчу во время весенних паводков, которые в данном регионе очень сильны [Рогозин и др., 2017]. Река Верхняя Лакура, впадающая в оз. Заповедное, значительно меньше, поэтому принос терригенного материала в это озеро впадающей в него рекой существенно меньше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, признаков возросшего антропогенного воздействия на горимость лесов в окрестностях исследованных озер не выявлено, по крайней мере применяемыми нами

методами. Возможно, используемая нами методика недостаточно чувствительна к отдельным пожарным событиям и отражает лишь фоновый уровень поступления древесных угольков на данной территории. Тем не менее увеличение потока угольков в слоях начала XX в. может быть интерпретировано как след пожара Тунгусской катастрофы 1908 г.

Насколько нам известно, данная работа является первым палеоэкологическим исследованием истории пожаров на территории Восточной Сибири. Применение других методов, в частности анализа биохимических индикаторов горения растительности (моносахаридных ангидридов: левоглюкозана, галактозана, маннозана) [Schüpbach et al., 2015], возможно, позволит более детально реконструировать динамику пожаров.

Полевые работы по отбору донных отложений осуществлялись в рамках государственных заданий Института биофизики СО РАН № 0287-2021-0019 и 0287-2022-0002. Обработка всего материала, анализ данных и написание статьи осуществлялись за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00398, <https://rscf.ru/project/22-27-00398/>.

Авторы выражают благодарность директору Государственного природного заповедника “Тунгусский” Логуновой Валентине Николаевне за неоценимую помощь в организации полевых работ и сотрудникам заповедника – Мороз Евгению Александровне и Чернышеву Олегу Валентиновичу за неоценимую помощь в полевых работах по отбору кернов. Авторы признательны коллегам из Института геологии и минералогии им. Соболева СО РАН (г. Новосибирск) д. г.-м. н. Ивану Александровичу Калугину и к. г.-м. н. Андрею Викторовичу Дарьину за содействие в полевых работах, а также анонимному рецензенту за ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильев Н. В., Львов Ю. А. Программа научных работ в Государственном природном заповеднике “Тунгусский” 2000–2020 гг. (проект) // Тунгусский заповедник. Вып. 1. Томск. Изд-во Том. ун-та. 2003. 294 с.
- Васильев Н. В., Львов Ю. А., Плеханов Г. Ф., Логунова Л. Н., Мульдияров Е. Я., Бибилова В. В., Волков А. Е., Кузьмин С. Л., Лапшина Е. Д., Папанотида А. И., Сергиева З. М., Сидоров К. С., Травинский И. В., Шефтель Б. И., Щербина С. С. Государственный природный заповедник “Тунгусский” (очерк основных данных) // Тунгусский заповедник. Вып. 1. Томск. Изд-во Том. ун-та, 2003. 294 с.
- Дарьин А. В., Рогозин Д. Ю., Мейдус А. В., Бабич В. В., Калугин И. А., Маркович Т. И., Ракшун Я. В., Дарьин Ф. А., Сороколетов Д. С., Гогин А. А., Се-

- нин Р. А., Дегерменджи А. Г. Следы Тунгусского события 1908 г. в донных осадках озера Заповедное по данным сканирующего РФА СИ // Докл. АН. Науки о Земле. 2020. Т. 492, № 2. С. 61–65 [Darin A. V., Rogozin D. Yu., Meydus A. V., Babich V. V., Kalugin I. A., Markovich T. I., Rakshun Ya. V., Darin F. A., Sorokaletov D. S., Gogin A. A., Senin R. A., Degermendzhi A. G. Traces of “Tunguska 1908” event in sediments of Lake Zapovednoye according to SR-XRF data // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 492, part 2. P. 442–445. doi: 10.1134/S1028334X20060045].
- Курбатский Н. П. О лесном пожаре в районе Тунгусского падения в 1908 г. // Метеоритика. 1964. Вып. 25. С. 168–172.
- Рогозин Д. Ю., Дарьин А. В., Калугин И. А., Мельгунов М. С., Мейдус А. В., Дегерменджи А. Г. Оценка скорости накопления донных отложений в озере Чеко (Эвенкия, Сибирь): новые сведения по проблеме Тунгусского феномена 1908 года // Докл. АН. Науки о Земле. 2017. Т. 476, № 6. С. 685–687 [Rogozin D. Yu., Darin A. V., Kalugin I. A., Melgunov M. S., Meydus A. V., Degermendzhi A. G. Sedimentation rate in Lake Cheko (Evenkia, Siberia): new evidence to the problem of 1908 Tunguska Event // Doklady Earth Sciences. (Proceedings of the Russian Academy of Sciences). Vol. 476, part 6. (Translated from Doklady Akademii Nauk. 2016. Vol. 476, N 6. P. 685–687).
- Ромейко В. А. Огненная слеза Фаятона. Эхо далекой Тунгуски. М.: Вече, 2006. 480 с.
- Шумилова Л. В. Ботаническая география Сибири. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1962. 439 с.
- Anderson S., Wahl D. Two Holocene paleofire records from Peten, Guatemala: Implications for natural fire regime and prehispanic Maya land use // Global and Planetary Change. 2016. Vol. 138. P. 82–92.
- Bezrukova E. V., Pavel E., Tarasov P. E., Solovieva N., Krivonogov S. K., Riedel F. Last glacial-interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2010. 296. P. 185–198.
- Fedotov A. P., Vorobyeva S. S., Vershinin K. E., Nurgaliev D. K., Enushchenko I. V., Krapivina S. M., Tarakanova K. V., Ziborova G. A., Yassonov P. G., Borissov A. S. Climate changes in East Siberia (Russia) in the Holocene based on diatom, chironomid and pollen records from the sediments of Lake Kotokel // J. Paleolimnol. 2012. Vol. 47. P. 617–630.
- Feurdean A., Florescu G., Tant I., Vanniere B., Diaconu A.-C., Pfeiffer M., Warren D., Hutchinson S. M., Gorina N., Galka M., Kirpotin S. Recent fire regime in the southern boreal forests of western Siberia is unprecedented in the last five millennia // Quat. Sci. Rev. 2020. Vol. 244. P. 106495.
- Gasparini L., Alvisi F., Biasini G., Bonatti E., Longo G., Pipan M., Ravaioli M., Serra R. A possible impact crater for the 1908 Tunguska Event // Terra Nova. 2007. Vol. 19, N 4. P. 245–251.
- Gasparini L., Bonatti E., Albertazzi S., Forlani L., Accorsi C. A., Longo G., Ravaioli M., Alvisi F., Polonia A., Sacchetti F. Sediments from Lake Cheko (Siberia), a possible impact crater for the 1908 Tunguska Event // Terra Nova. 2009. Vol. 21, N 6. P. 489–494.
- Harrison S. P., Marlon J. R., Bartlein P. J. Fire in the Earth system // Changing climates, earth systems and society. Dordrecht: Springer, 2010. P. 21–48.
- Higuera P., Brubaker L., Anderson P., Hu F., Brown T., Vegetation mediated the impacts of postglacial climate change on fire regimes in the south-central Brooks Range, Alaska // Ecol. Monogr. 2009. Vol. 79. P. 201–219.
- Kelly R., Chipman M. L., Higuera P. E., Stefanova I., Brubaker L. B., Hu F. S. Recent burning of boreal forests exceeds fire regime limits of the past 10,000 years // Proc. Nat. Acad. Sci. 2013. Vol. 110 (32). P. 13055–13060.
- Kelly R. F., Higuera P. E., Barrett C. M., Hu F. S. A signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment-charcoal records // Quat. Res. 2011. Vol. 75. P. 11–17.
- Koshkarova V. L., Koshkarov A. D. Paleoecology and Dynamics of Forest Ecosystems in Central Evenkia during the Past 2400 Years // Rus. J. Ecol. 2005. Vol. 36, N 1. P. 1–7. (Translated from Ekologiya. 2005. N 1. P. 3–10).
- Krivonogov S. K., Takahara H., Yamamuro M., Preis Y. I., Khazina I. V., Khazin L. B., Kuzmin Y. V., 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 Beloye // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2012. Vol. 331–332. P. 177–193.
- Marlon J. R. What the past can say about the present and future of fire // Quat. Res. 2020. Vol. 96. P. 66–87. <https://doi.org/10.1017/qua.2020.48>
- Muller S., Tarasov P., Andreev A., Tütken T., Gartz S., Diekmann B. Late Quaternary vegetation and environments in the Verkhoyansk Mountains region (NE Asia) reconstructed from a 50-kyr fossil pollen record from Lake Billyakh // Quat. Sci. Rev. 2010. Vol. 29. P. 2071–2086.
- Nazarova L., Lüpfer H., Subetto D., Pestryakova L., Diekmann B. Holocene climate conditions in central Yakutia (Eastern Siberia) inferred from sediment composition and fossil chironomids of Lake Temje // Quat. International. 2013. Vol. 290–291. P. 264–274.
- Rudaya N., Krivonogov S., Slowinski M., Cao X., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity // Quat. Sci. Rev. 249. Vol. 2020. P. 106616.
- Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D., Palagushkina O., Papin D., Frolova L. Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: vegetation, climate and humans // Quat. Sci. Rev. 2012. Vol. 48. P. 32–42.
- Schüpbach S., Kirchgeorg T., Colombaroli D., Beffa G., Radaelli M., Kehrwald N. M., Barbante C. Combining charcoal sediment and molecular markers to infer a Holocene fire history in the Maya Lowlands of Peten, Guatemala // Quat. Sci. Rev. 2015. Vol. 115. P. 123–131.
- Unkelbach J., Dulamsuren C., Punsalpaamuu G., Saindovdon D., Behling H. Late Holocene vegetation, climate, human and fire history of the forest-steppe-ecosystem inferred from core G2-A in the ‘Altai Tavan Bogd’ conservation area in Mongolia // Vegetat. History and Archaeobotany. 2018. Vol. 27. P. 665–677.
- Xue J., Zhong W., Li Q., Cheng R., You A., Wei Z., Shang S. Holocene fire history in eastern monsoonal region of China and its controls // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. 2018. Vol. 496. P. 136–145.
- Zhang D., Feng Z. Holocene climate variations in the Altai Mountains and the surrounding areas: A synthesis of pollen records // Earth-Sci. Rev. 2018. Vol. 185. P. 847–869.

Macro-charcoal particles in lake sediments of Central Tunguska Plateau (Siberia, Evenkia) as a proxy of forest fires and possible trace of Tunguska 1908 Event

D. Yu. ROGOZIN^{1, 2}, G. N. BOLOBANSHCHIKOVA², L. A. BURDIN¹, A. V. MEYDUS³

¹*Institute of Biophysics SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50
E-mail: rogozin@ibp.ru*

²*Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79*

³*Krasnoyarsk State Pedagogical University
660049, Krasnoyarsk, Ady Lebedevoy str., 89*

In the bottom sediments of lakes Cheko and Zapovednoye, located in the southern part of the Evenk region (Krasnoyarsk Territory), the distributions of charcoal particles >100 microns have been analyzed. The background content of charcoal particles in sediments up to 1500 years ago was not less than in recent sediments. Thus, evidence was obtained that the intensity of fires in the vicinity of the studied lakes in the past was not less than at present, and during the XVI–XVIII centuries it was possibly even higher. Therefore, a sharp increase in forest fires in recent times reported for other regions is not confirmed for this territory, which is probably due to the lack of economic activity due to the extremely low population density. In Lake Cheko, a local maximum of charcoal particles was revealed at the sediments corresponding to the year of 1908, presumably being the trace of an extensive forest fire resulted from Tunguska 1908 catastrophe.

Key words: forest fires, charcoal, lake sediments, Lake Cheko, Evenkia, Tunguska 1908 Event.