

Т.А. БЛЯХАРЧУК*, **, М.А. ПУПЫШЕВА*

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

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

ИНДИКАЦИЯ ПОЖАРОВ В ТЫСЯЧЕЛЕТНЕЙ ИСТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛТАЯ

Приведено сравнение трех методов представления данных микроуголькового анализа для изучения тысячелетней истории палеопожаров на примере микроугольковых данных из донных отложений оз. Узунколь (Улаганское плато, Центральный Алтай). Доказаны преимущества использования индекса СС — абсолютной концентрации микроугольков в 1 см^3 (Charcoal Concentration) и индекса СИ — расчета годовой аккумуляции микроугольков на единицу площади в 1 см^2 (Charcoal Influx) в образцах озерных отложений по сравнению с данными абсолютных подсчетов микроугольков. Проанализированы результаты применения индексов СС и СИ к микроугольковым данным из донных отложений оз. Узунколь от позднеледникового (17 000 кал. л. н.) до современности. Выявлено, что использование индекса СИ снимает искусственный эффект увеличенного обилия микроугольков при низкой пыльцевой продуктивности степных ландшафтов. Результаты исследования содержания микроугольков в донных отложениях озера всеми тремя методами показали, что естественные пожары в Центральном Алтае были наиболее интенсивны в голоцене в переходный нестабильный климатический период 9500–9000 кал. л. н., когда один тип ландшафта (степь) сменялся другим типом (лес), т. е. наиболее подвержены естественным пожарам в прошлом были лесостепные ландшафты. Использование индекса СИ выявило, что развитие древних культур на Алтае сопровождалось общим увеличением концентрации и аккумуляции микроугольков в озерных отложениях, начиная с 4500 кал. л. н. Резкое увеличение концентрации и годовой аккумуляции микроугольков произошло после 1700 кал. л. н., что могло быть вызвано увеличением плотности населения в этом районе Алтая.

Ключевые слова: палеопожары, микроугольки, озерные отложения, климат, пыльца, голоцен.

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

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

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

INDICATION OF FIRES IN THE THOUSAND-YEAR HISTORY OF CENTRAL ALTAI

This article compares three methods of representing micro-charcoal analysis data for studying the thousand-year history of paleofires by using, as an example, microcharcoal data from the bottom sediments of Lake Uzunkol (Ulagan Plateau, Central Altai). The advantages of using the CC index of absolute concentration of microcharcoal per 1 cm^3 (Charcoal Concentration) and the CI index for calculating the annual accumulation of microcharcoal per 1 cm^2 unit area (Charcoal Influx) in lake sediment samples in comparison with data on absolute counts of microcharcoal are proved. The results from applying the CC and CI indexes of microcharcoal to paleocharcoal data from bottom sediments of Lake Uzunkol, covering the time interval from the Late Glacial (17 000 cal. yr BP) till the present, are analyzed. The application of these indexes removes the artificial effect of the increased abundance of microcharcoal in the case of low pollen productivity of steppe landscapes. Results from studying paleomicrocharcoal in bottom sediments of Lake Uzunkol by using the three methods showed that natural fires in Central Altai were most intense in the Holocene during the transitional, unstable climatic period 9500–9000 cal. yr BP, when one type of landscape (steppe) was replaced by another type (forest). That is, forest-steppe landscapes were the most prone to natural fires in the past. By using the CI index, it was found that the development of ancient cultures in the Altai region was accompanied by a general increase in the concentration and accumulation of microcharcoal in lacustrine sediments, starting from 4500 cal. yr BP. A dramatic increase in the concentration and annual accumulation of microcharcoal occurred after 1700 cal. yr BP, which could be caused by an increase in population density in this region of Altai.

Keywords: paleofires, microcharcoal, lacustrine sediments, climate, pollen, Holocene.

ВВЕДЕНИЕ

Пожары различной природы представляют собой мощный источник парниковых газов и загрязнения атмосферы. Эти факторы могут существенно влиять на баланс углерода и на климат Земли в целом. Распространенность природных пожаров в настоящее время в значительной степени связана с антропогенным фактором [1–3]. Но в какой степени он был ответствен за частоту пожаров на Земле в прошлом? Как географические факторы — климатическая зональность, континентальность климата, наличие и качество природных горючих материалов — влияли и влияют на частоту пожаров? Ответить на эти вопросы возможно, если антропогенный фактор в возникновении пожаров будет отделен от природных [4]. Прямой мониторинг за распространением пожаров на различных территориях с использованием данных дистанционного зондирования позволяет выявить зависимость частоты пожаров от совместного антропогенного и природного воздействия и классифицировать различные территории по степени пожароопасности в настоящее время. Однако отделить при этом антропогенное влияние от природных факторов, вызывающих распространение пожаров, довольно сложно. Если принять, что в прошлом, при меньшей заселенности людьми территории Земли, антропогенные причины в возникновении пожаров были менее значимы, то логично предположить, что распространенность пожаров в доантропогенный период в большей степени отражала влияние природных пожаростимулирующих факторов.

Цель предлагаемого исследования — изучение долговременной динамики пожаров в прошлом. Для этого решалась задача оценки информативности ретроспективных микроугольковых данных, полученных при спорово-пыльцевом анализе донных отложений оз. Узункель (Республика Алтай) [5]. В результате исследования предложена новая методика представления палеоданных микроуголькового анализа, более реально отражающая долговременную историю пожаров.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объект данного исследования — оз. Узункель (50°29' с. ш. 87°6'30" в. д.) — расположено на Улаганском плато (1985 м над ур. моря) в Центральном Алтае на территории Улаганского района Республики Алтай. Площадь поверхности — 1,2 км², площадь водосборного бассейна — 15,1 км². Длина озера — 2,8 км, ширина — 630 м, наибольшая глубина — 28 м. Озеро расположено в верховьях правого притока р. Чибитки, на высоте 1985 м над ур. моря. Это самый большой водоем в бассейне данной реки. Вытекающий из озера ручей проходит через цепь озер и впадает в р. Чибитку справа.

Западные и восточные берега оз. Узункель образованы крутыми коренными склонами, поднимающимися на высоту до 300 м над ур. озера. Они заняты зарослями карликовой берёзки (*Betula nana*), местами заболочены, а выше по склонам покрыты лиственничными и кедрово-лиственничными лесами, характерными для растительного покрова в этом районе Алтая [6]. У верхней границы леса к лиственнице сибирской (*Larix sibirica*) примешивается кедр (*Pinus sibirica*). В окружении озера лиственничный лес разрежен и перемежается с горными лугами.

Плотиной, образовавшей озеро, является морена. Она располагается с южной стороны, достигает в длину 1,5 км и превышает уровень озера на 10–15 м.

Днище озера сложено россыпями из гранитов, сланцев, порфиринов. Водоем питается небольшими ручьями, а также грунтовыми, дождевыми и талыми водами. Расход воды происходит за счет двух ручьев, вытекающих из южного конца озера.

Сезонные колебания уровня озера незначительные. Вода пресная, мягкая, без запаха и привкуса, цвет воды темно-голубой, прозрачность 7 м. Толщина льда зимой достигает 1 м.

Изменение частоты возникновения пожаров на данной территории в голоцене помогает выявить анализ микроскопических частиц угля в озерных и болотных отложениях [4, 7–9]. В результате обширных пожаров естественного происхождения, а также сжигания топлива человеком продукты неполного сгорания органического материала в виде дыма, состоящего из мельчайших угольков размером от 5 до 100 микрон, поднимаются в атмосферу и рассеиваются на обширные площади. Эти микроугольки вместе с пылью и спорами растений образуют воздушные аэрозоли, которые переносятся ветром на большие расстояния, оседают на поверхность болот и озер и погребаются в слоях непрерывно нарастающих болотно-озерных отложений. Проведенные ранее исследования показали, что микроугольки размером менее 200 микрон переносятся воздушными потоками на расстояние 20–100 км [9]. Соответственно, микроугольковые данные содержат информацию об истории пожаров конкретного района, в котором расположено исследуемое озеро или болото.

Микроугольки дыма по размерам и весу сопоставимы с пыльцевыми зёрнами и спорами растений и подчиняются в своем переносе, рассеивании и захоронении одинаковым с ними аэродинамическим закономерностям. В палеоэкологических исследованиях для выявления антропогенного влияния на ландшафт подсчет микроугольков проводится одновременно со спорово-пыльцевым анализом образцов [5, 8, 10], и его результаты обычно приводятся параллельно с данными палинологического анализа на спорово-пыльцевых диаграммах либо в абсолютных значениях, либо в процентном отношении к общему числу подсчитанных форм пыльцы и спор. В предлагаемом исследовании мы рассматриваем микроугольковые данные, полученные при проведении спорово-пыльцевого анализа донных отложений (озерного сапропеля) из оз. Узункёль (рис. 1). Подробная спорово-пыльцевая диаграмма озера со всеми радиоуглеродными датировками опубликована ранее [5]. На рис. 1 мы приводим ее упрощенный вариант.

В последние десятилетия было разработано несколько методов анализа микроугольков, включая подсчет абсолютного количества микроскопических частиц угля [4], и очень трудоемкие методы оценки суммарной площади или объема угольков в препаратах. Тем не менее в ряде работ [11, 12] отмечается, что абсолютные подсчеты микроугольков обеспечивают сравнимые с измерением площади и их объема данные об истории пожаров, поэтому более трудоемкие и сложные методы при таких исследованиях излишни. В некоторых материалах [13] показана целесообразность модернизации метода анализа микроскопических частиц угля путем применения к нему палинологической методики подсчета концентрации пыльцы с добавлением известного количества экзотических маркеров [14, 15] (например, таблеток спор ликоподиума (*Lycopodium*) или пыльцы эвкалипта (*Eucalyptus*)) в анализируемый образец объемом 1 см³. При этом при проведении пыльцевого анализа подсчитывается также число микроугольков и спор добавленного маркера. Диаграмму концентрации аэрозольных угольков предлагается строить с использованием формулы Стокмарра [15], в которой известное количество маркера, добавленное к стандартному по объему образцу осадка (1 см³), умножается на число подсчитанных в образце микроугольков и делится на число вычисленного при пыльцевом анализе маркера. Таким образом, мы получаем концентрацию микроугольков в 1 см³ образца (Charcoal Concentration — индекс CC).

В результате применения двух ретроспективных микроэкологических методов (спорово-пыльцевого анализа и модернизированного метода анализа микроугольков) к одной и той же серии образцов реконструируется более реальная картина изменений растительности и оценивается степень распространения пожаров в палеоландшафтах. Использование двух последних подходов позволяет устранить такие локальные особенности микроугольковых серий, как влияние разной скорости седиментации и разной пыльцевой продуктивности ландшафтов, которые искажают реальную картину прошлых пожаров.

Известно, что скорость осадконакопления может меняться со временем. При более высокой скорости накопления вмещающих микроугольки озерных или торфяных отложений в 1 см³ осадка будет аккумулироваться меньшее количество микроугольков, чем при более низкой, по причине меньшего периода времени аккумуляции микроугольков. Эту проблему можно преодолеть, если имеются абсолютные датировки для исследуемого разреза торфяных или озерных отложений. При наличии нескольких радиоуглеродных датировок для изучаемых озерных или торфяных разрезов можно рассчитать годовую аккумуляцию микроугольков (Charcoal Influx — индекс CI), выраженную в количестве микроугольков, выпавших на единицу площади (1 см²) в год для каждого образца. Для этого рассчитанную концентрацию микроскопических частиц угля следует умножить на скорость осадконакопления (см/год).

Расчет годовой аккумуляции микроугольков (или индекса CI) позволяет снять еще одну проблему, возникающую при разной пыльцевой продуктивности ландшафтов. Поскольку микроугольковый анализ проводится одновременно со спорово-пыльцевым, то количество подсчитываемых микрочастиц угля в определенной степени зависит от обилия пыльцы в препарате, так как подсчет ведется до достижения статистически значимого количества пыльцевых зерен (обычно 300–500 палиноморф). Но в палинологии известно, что некоторые ландшафты производят значительно меньшее количество пыльцы, например, степные по сравнению с лесными [16]. В результате для набора палинологической статистики аналитик просматривает большую площадь препаратов за более длительное время, при этом насчитывается и большее количество микроугольков. Происходит как бы искусственное завышение обилия этих микрочастиц в степных спорово-пыльцевых спектрах. Использование методов пересчета обилия микроугольков в их абсолютную концентрацию (индекс CC) и в годовую аккумуляцию (индекс CI) помогает снять этот искусственный эффект увеличения их обилия в степных пыльцевых спектрах.

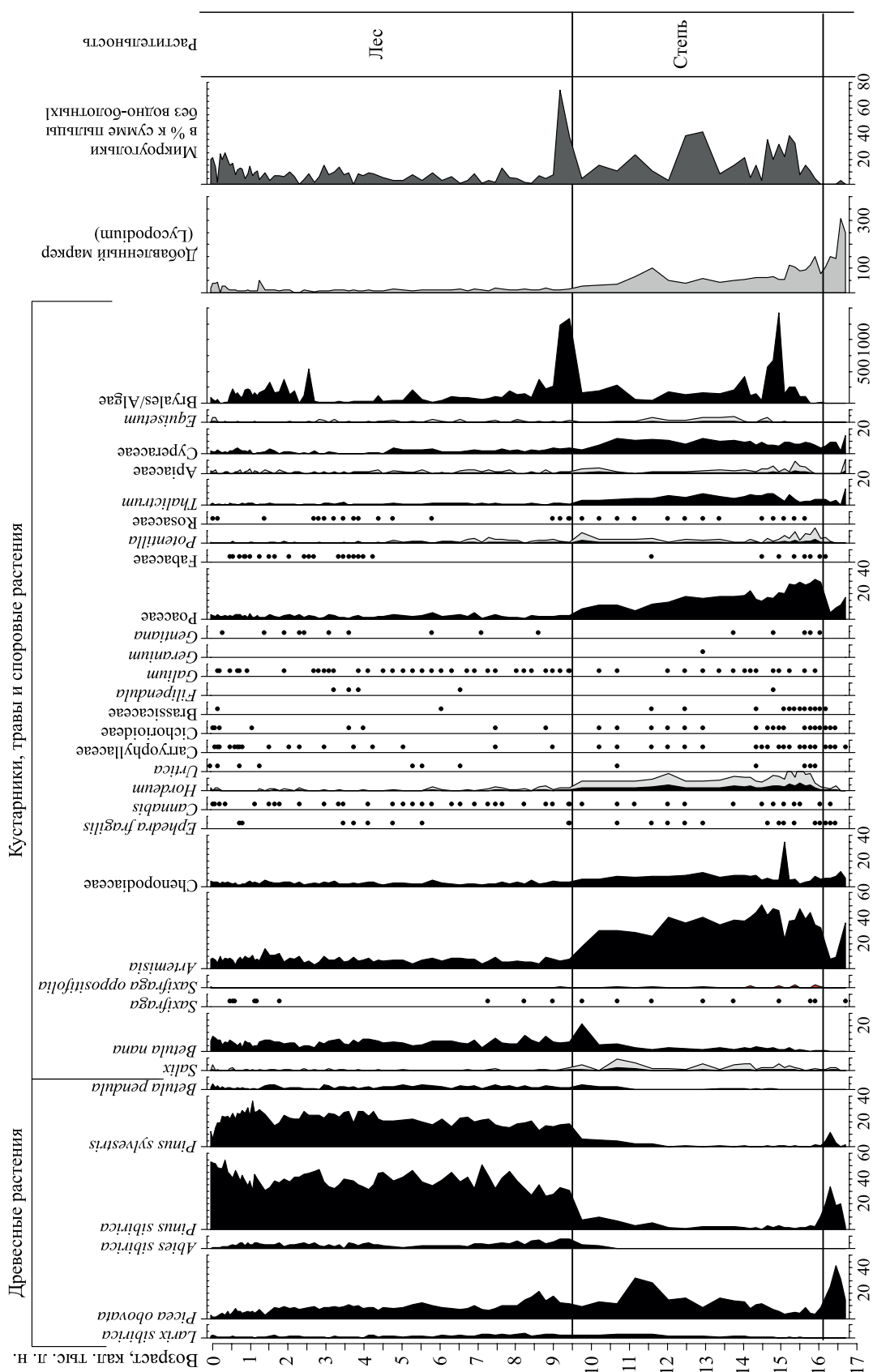


Рис. 1. Процентная спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений оз. Узункөл (Центральный Алтай) в сокращенном варианте.

Таким образом, при пересчете абсолютного значения подсчитанных микроугольков в индекс их концентрации — *CC* (Charcoal Concentration) и в индекс их годовой аккумуляции — *CI* (Charcoal Influx) можно преодолеть как проблему разной пылевой продуктивности ландшафтов, так и проблему различной скорости осадконакопления в разных отложениях в определенные периоды времени в прошлом. Применение этих индексов для стандартизации микроугольковых данных позволяет получить более реальную картину динамики горимости ландшафтов в минувшие исторические периоды. Это, в свою очередь, позволит в дальнейшем сравнивать палеопожарные данные из различных осадочных отложений в других географических точках исследования и таким образом более правильно оценивать изменение режима палеопожаров территорий в пространственном и временном масштабах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее нами были проведены параллельные анализы пылицы и микроугольков из озерных отложений Алтая [5, 10]. На опубликованных диаграммах графики микроугольков представлены в процентах от общей суммы пылицы и спор, подсчитанных в образце (см. рис. 1). Во всех случаях кривые микроугольков показывают резкое увеличение их обилия при заселении территории человеком. В данном случае они представляют собой четкий индикатор увеличения антропогенного влияния на территорию. Однако при таком способе представления микроугольковых данных на графиках видно чрезвычайно высокое содержание микроскопических частиц угля и в позднеледниковое время (рис. 2, *а*), когда, согласно пылевым данным (см. рис. 1), ландшафты Алтая были безлесными [5]. На этом фоне теряется повышенное обилие микроугольков в позднем голоцене. Отмеченная особенность микроугольковых графиков исчезает при пересчете абсолютных значений подсчитанных микрочастиц угля в их концентрацию в 1 см³ осадка (индекс *CC*) и в их годовую аккумуляцию на 1 см²

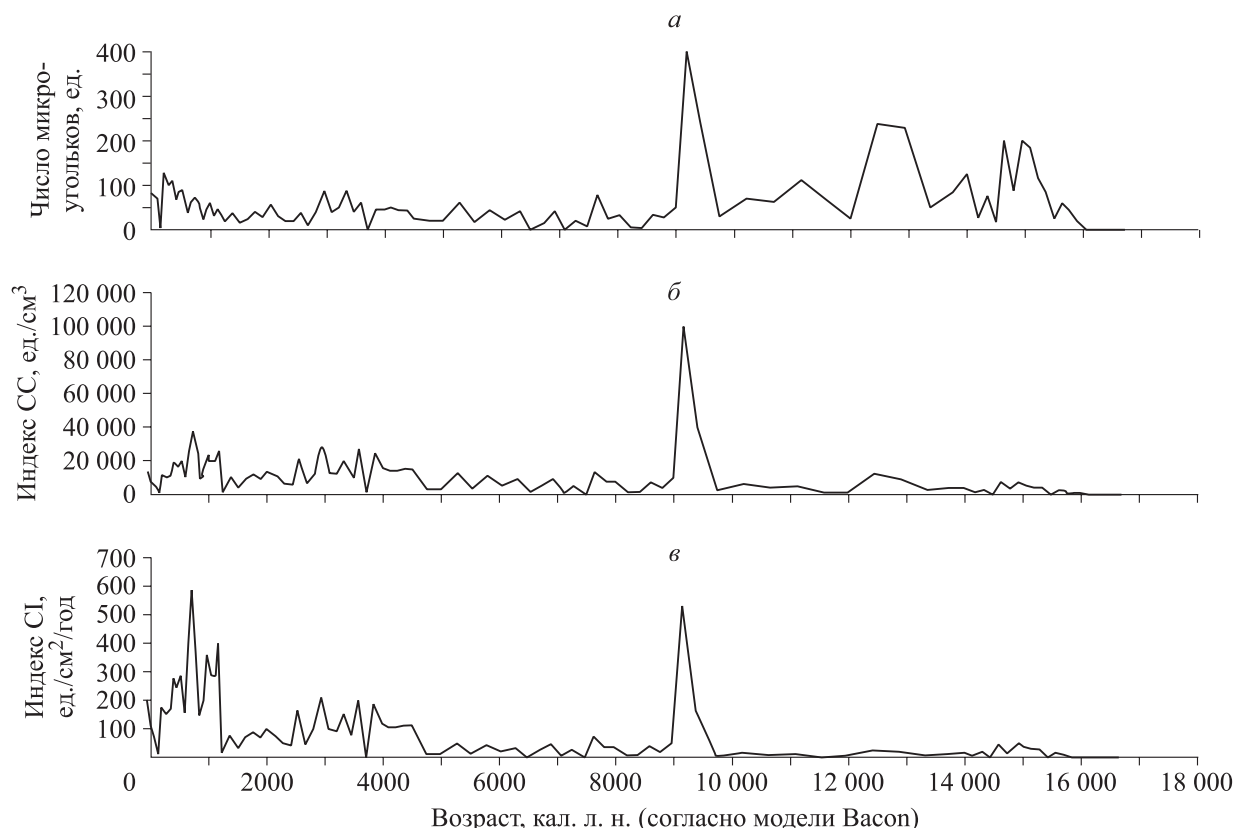


Рис. 2. Сравнение трех методов представления микроугольковых данных из донных отложений оз. Узун-кель (Центральный Алтай).

а — абсолютное количество подсчитанных микроугольков; *б* — индекс *CC* (Charcoal Concentration) — концентрация микроугольков в 1 см³ озерного осадка; *в* — индекс *CI* (Charcoal Influx) — годовая аккумуляция микроугольков, выпавших на 1 см² площади.

(индекс CI) по описанным выше методам (см. рис. 2, б, в), так как при таком подходе снимается эффект влияния малой пылевой продуктивности степных ландшафтов позднеледниковья по сравнению с лесными ландшафтами в среднем и позднем голоцене (см. рис. 1).

Диаграмма годовой аккумуляции микроугольков из озерных отложений оз. Узункель оказалась наиболее информативной (рис. 3). Поскольку это озеро расположено на более низких высотах Улаганского плато (по сравнению с двумя другими исследованными нами озерами из этого же района Алтая) [5], в его микроугольковых записях вместе с природными пожарами отразилось и антропогенное воздействие. Удобное расположение озера в ландшафте и заселенность его рыбой, вероятно, не раз привлекали людей для временного или длительного пребывания на его берегах. Спориво-пылевая диаграмма отложений этого озера с процентной кривой содержания микроугольков опубликована ранее [5]. Колонка озерных отложений, отобранная из водоема, охватывает период от позднеледниковья до современности (см. рис. 1). На графике (см. рис. 3) выявляются тысячелетние периоды увеличения и уменьшения индекса годовой аккумуляции микроугольков. Прежде всего, диаграмма отчетливо делится на две части. Правая (более древние отложения) отражает низкие значения индекса годовой аккумуляции микроугольков в придонных слоях озерных отложений за исключением небольшого максимума возрастом около 15 000 кал. л. н. Мы полагаем, что этот максимум обусловлен переложенными микрочастицами угля, которые накапливались в приледниковом озере при сносе их тальными водами с быстро таявшего ледника и окружающих ландшафтов, еще не задернованных растительностью. Левая часть диаграммы (отложения возрастом от 4500 кал. л. н. до современности, охватывающие поздний голоцен) отличается устойчиво повышенными значениями индекса CI. Граница между двумя частями диаграммы выявлена в отложениях на глубине 73 см. Возраст этого образца, по имеющимся радиоуглеродным датировкам [5], равен приблизительно 4500 кал. л. н. и, вероятно, отражает начало антропогенного влияния на ландшафты Алтая. В течение позднего голоцена отчетливо выделяются две волны увеличения индекса CI. Самые верхние образцы озерных отложений (до глубины 7 см) также имеют низкие значения индекса CI.

Радиоуглеродные датировки свидетельствуют о том, что максимум аккумуляции микроугольков на глубине 38–55 см по времени (3000 кал. л. н.) совпадает с поселением и хозяйственной деятельностью носителей скифской археологической культуры на Алтае, а максимум аккумуляции микроугольков на глубине 10–20 см коррелирует с периодом расцвета тюркских племен (с 1200 кал. л. н.) [17–19]. По-видимому, плотность населения носителей вышеуказанных археологических культур была на Улаганском плато достаточно высокой. Возможно, стоянки людей, сжигавших органическое топливо, располагались по берегам оз. Узункель, начиная с 4500 кал. л. н. Чаше всего люди посещали Улаганское плато и озера на нем, вероятно, в период средневековья, что способствовало максимальному годовому накоплению микроугольков в донных отложениях озера. Позднее, с приходом русского населения и изменением доминирующего типа хозяйствования, эта местность стала подвергаться меньшему антропогенному воздействию, что зафиксировано в виде снижения годового накопления микроугольков в самых верхних слоях озерных отложений. Русские земледельцы жили в постоянных поселках, в то время как заселявшие ранее эти места кочевники-скотоводы перемещались со своими

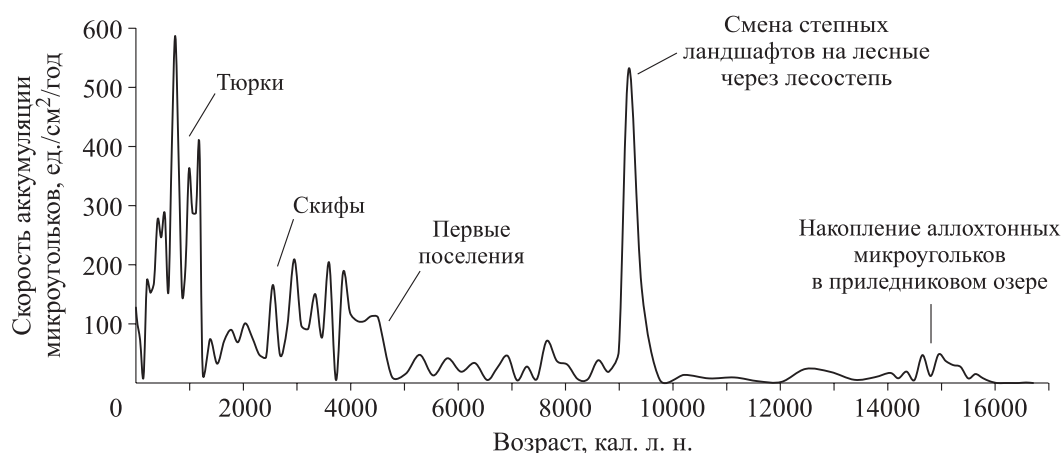


Рис. 3. Годовая аккумуляция микроугольков (Charcoal Influx) в донных отложениях оз. Узункель (Центральный Алтай) и основные факторы, влиявшие на нее.

стадами и часто останавливались на берегах озера для водопоя. Таким образом, Улаганское высокогорное плато с расположенными на нем озерами стало реже посещаться человеком, который мог разводить костры на их берегах.

По другой версии, это снижение индекса СІ отражает увлажнение климата в Центральном Алтае в малый ледниковый период. Резкий максимум годовой аккумуляции микроскопических частиц угля (СІ) отмечается в донных отложениях оз. Узункель на глубине около 170 см. Этот абсолютный максимум микроугольков проявляется как в абсолютном количестве подсчитанных частиц угля, так и в индексах концентрации микроугольков (СС) и их годовой аккумуляции (СІ). Согласно пылевой диаграмме [5], в данный период (около 9200 кал. л. н.) на Улаганском плато происходила смена господствовавших ранее степных ландшафтов на лесостепные и лесные (см. рис. 3). Возможно, это был очень нестабильный климатический интервал (возрастало число аридных лет), что и способствовало распространению пожаров. В качестве современного аналога ландшафта с подобной экологической и пожарной ситуацией можно указать южные склоны Западного Саяна и хребты Восточного Танну-Ола, т. е. зону «островных степей» гор Южной Сибири [17]. Мы полагаем, что этот наиболее древний максимум концентрации микроугольков имеет, вероятно, естественное происхождение, так как антропогенная нагрузка на ландшафт 9200 кал. л. н., скорее всего, была незначительной. Корреляционный анализ индекса СІ с обилием древесной пылицы в спорово-пылевых спектрах донных отложений оз. Узункель показал значимую положительную корреляцию ($r = +0,34$ при $n = 99$ и $P < 0,05$). Вероятно, это отражает влияние на частоту пожаров в ландшафте возрастающего количества горючих материалов при расширении лесных площадей относительно степных.

Таким образом, можно сделать вывод, что ландшафты лесостепей и в период времени до прихода человека были наиболее подвержены частым пожарам естественного происхождения. Горимость ландшафтов увеличивалась в нестабильном климате переходных периодов, когда природно-климатическая система перестраивалась на новый уровень функционирования. Переход природной системы из одного равновесного состояния в другое всегда происходит при нарушении стабильности климата или других факторов. О резком увеличении частоты пожаров в переходные периоды при коренных сменах ландшафтов свидетельствуют и данные других исследователей [20, 21]. Так, резкий максимум микроугольков отмечен 9500 кал. л. н. в озерных отложениях Болгарии в переходный период смены темнохвойных лесов широколиственными [20]. Микроэлементный анализ этих же отложений показал резкое увеличение содержания стронция и бария в отложениях, синхронное максимумам микроугольков, сменившееся через 200 лет максимумами содержания железа, магния и фосфора. По интерпретации авторов, последнее представляет собой отражение послепожарных геохимических процессов, происходивших в ландшафте. Два аналогичных резких максимума обилия микроугольков в озерных отложениях, имевшие место 600 и 80 лет назад, отмечены в оз. Крофорд в штате Онтарио (США) [21]. Появление первого максимума содержания микроугольков в отложениях этого озера синхронно смене буковых лесов на дубово-сосновые леса в окрестностях водоема. Буковые леса более мезофильные (т. е. более влаголюбивые), а дубово-сосновые — более ксерофильные, поэтому в широтной зональности последние занимают наиболее южную зону лесной области, граничащую со степью. Из перечисленных древесных пород сосна — наиболее пирогенно-устойчивая лесная порода. Второй максимум содержания микроугольков в этих озерных отложениях соответствует началу сокращения покрытых лесом площадей на данной территории. При усилении сухости климата леса стали чаще и интенсивнее гореть, что приводило к сокращению их площадей и ускоряло смену ландшафтов. Кроме климатического фактора, к учащению пожаров в этот период могло приводить и усилившееся антропогенное воздействие.

По-видимому, нестабильная климатическая обстановка (учащение лет с аридными весенне-летними сезонами) в целом способствует распространению природных пожаров, а частые пожары, в свою очередь, ускоряют смену доминирующих типов растительности в ландшафте, выступая в качестве катализаторов таких изменений. Подтверждением этой гипотезы являются исследования, показавшие увеличение частоты и интенсивности пожаров в лесостепных ландшафтах Хакасии и Тывы при современном потеплении климата [17]. На этот фон может накладываться антропогенный фактор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горение биомассы при пожарах вызывает выбросы углекислого газа, равные 50 % от выбросов, возникающих при сжигании ископаемого топлива, что в совокупности влияет на будущее изменение климата [22]. Спутниковые снимки, демонстрирующие широкие масштабы распространения выгора-

ния растительного покрова, особенно в тропиках и в бореально-лесной зоне, свидетельствуют о значении огня как важного процесса в экосистемах Земли [23, 24]. Для получения информации о динамике пирогенной обстановки в различных регионах Земли необходимы не только данные о современных пожарах, но и информация о палеопожарах, охватывающая более длительные периоды времени (от столетий до тысячелетий). В последние годы появилось много публикаций по изучению истории палеопожаров на территории Европы и Америки, но для Сибири, учитывая площадь ее территории и разнообразие ландшафтов и климата, такой информации еще чрезвычайно мало для обобщающих выводов о связи пожарной активности с природными и антропогенными факторами. Кроме того, даже имеющиеся палеопожарные данные необходимо унифицировать для возможности их сопоставления друг с другом и пространственно-временного анализа пожарной активности. В проведенном исследовании показано преимущество использования индексов концентрации (СС) и годовой аккумуляции (СИ) микроугольков для унификации микроугольковых данных при исследовании палеопожарной активности. С помощью этих индексов выявлены основные закономерности палеопожарной активности на территории Центрального Алтая, усилившейся как под действием природных факторов, так и при антропогенном влиянии. Данное исследование показало, что естественные пожары в Центральном Алтае в голоцене были наиболее распространены в переходный — нестабильный — климатический период 9500–9000 кал. л. н., когда один тип ландшафта (степь) сменялся другим типом ландшафта (лесом) через относительно краткий период экотональной лесостепи продолжительностью 300–500 лет. Таким образом, лесостепные ландшафты Алтая были наиболее подвержены частым пожарам естественного происхождения и в периоды до интенсивного антропогенного воздействия.

Исследования долговременной истории пожаров необходимы для выяснения влияния пожаров на палеоландшафты в прошлом и для выявления основных движущих факторов их возникновения. На основе установленных закономерностей в долговременной динамике пожарной активности на территории Сибири можно предвидеть динамику и последствия этих процессов для региона в будущем при изменении климата и усилении антропогенного влияния. Изучение истории пожаров позволяет выявлять такие особенности этого процесса, которые иначе невозможно предвидеть. Например, современное распространение пожаров в различных типах растительного покрова не всегда объясняет некоторые изменения пожарной ситуации в прошлом, когда преобладали различные соотношения горючего субстрата и климата [25, 26]. Изучение палеопожаров привело к пониманию, что сжигание биомассы в прошлой истории Земли имело обратную связь с климатической системой через биогеохимический круговорот [27]. Кроме того, эти исследования показали, что пожары были важным катализатором в образовании биомов и в эволюции организмов [23]. Поэтому накопление данных о палеопожарах в сибирском регионе необходимо для понимания динамики экосистем и выявления взаимосвязей в системах Земли, на основе которых могут быть разработаны более надежные стратегии управления лесными ресурсами в Сибири.

Работа выполнена при финансовой поддержке Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (FWRG-2021-0003) и гранта Российского фонда фундаментальных исследований (20-55-53015 ГФЕН_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н.Н., Вагнер П., Соколов С.В. Проблема пожаров в мире в начале XXI столетия // Пожаро-взрывобезопасность. — 2003. — Т. 12, № 1. — С. 7–14.
2. Abatzoglou J.T., Williams A.P., Barbero R. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices // Geophysical Research Letters. — 2019. — Vol. 46, N 1. — P. 326–336.
3. Harrison S.P., Prentice I.C., Bloomfield K.J., Dong N., Forkel M., Forrest M., Ningthoujam R.K., Pellegrini A., Shen Y., Baudena M., Cardoso A.W., Huss J.H., Joshi J., Oliveras I., Pausas J.G., Simpson K.J. Understanding and modelling wildfire regimes: an ecological perspective // Environmental Research Letters. — 2021. — Vol. 16, N 12. — P. 125008.
4. Mooney S.D., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires and Peat. — 2011. — Vol. 7. — P. 1–18.
5. Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. — 2004. — Vol. 209, N 1–4. — P. 259–279.
6. Куминова А.В. Растительный покров Алтая. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1960. — 450 с.

7. **Patterson III W.A., Edwards K.J., Maguire D.J.** Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire // *Quaternary Science Reviews*. — 1987. — Vol. 6, N 1. — P. 3–23.
8. **Bennett K.D., Simonson W.D., Peglar S.M.** Fire and man in post-glacial woodlands of eastern England // *Journ. of Archaeological Science*. — 1990. — Vol. 17, N 6. — P. 635–642.
9. **Conedera M., Tinner W., Neff C., Meurer M., Dickens A., Krebs P.** Reconstructing past fire regimes: methods, applications and relevance to fire management and conservation // *Quaternary Science Reviews*. — 2009. — N 28. — P. 435–456.
10. **Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B.** Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. — 2007. — Vol. 245. — P. 518–534.
11. **Tinner W., Hu F.S.** Size parameters, size-class distribution, and area-number relationship of microscopic charcoal: Relevance for fire reconstruction // *The Holocene*. — 2003. — N 13. — P. 291–296.
12. **Ali A.A., Higuera P.E., Bereron Y., Corcaillet C.** Comparing fire-history interpretations based on area, number and estimated volume of macroscopic charcoal in lake sediments // *Quaternary Research*. — 2009. — N 72. — P. 462–468.
13. **Бляхарчук Т.А., Тартаковский В.А.** Микрооптический метод индикации палеопожаров // Шестое Сибирское совещание по климатно-экологическому мониторингу: Материалы совещания (Томск, 14–16 сентября 2005 г.). — Томск, 2005. — С. 275–278.
14. **Davis M.B.** A method for determination of absolute pollen frequency // *Handbook of paleontological techniques*. — San-Francisco-London: Freeman & Co, 1965. — P. 674–686.
15. **Stockmarr J.A.** Tabletes with spores used in absolute pollen analysis // *Pollen spores*. — 1971. — Vol. 13. — P. 61–621.
16. **Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E.** *Pollen Analysis*. — Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991. — 216 p.
17. **Tchebakova N.M., Parfenova E.I., Soja A.J., Blyakharchuk T.A.** Predicted climate induced fire in the Altai-Sayan Mts., Central Asia, in the past, present and future // *Climate and Fires. Modelling Fire Behaviur and Risk*. — Sassari, Itali: Nuova Stampa Color, 2012. — P. 56–62.
18. **Славнин В.Д., Шерстова Л.И.** Археолого-этнографический очерк Северной Хакасии в районе геологического полигона сибирских вузов. — Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 1999. — 250 с.
19. **Schlütz F., Lehmkuhl F.** Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene // *Veget. Hist. Archaeobot.* — 2007. — Vol. 16. — P. 101–118.
20. **Willis K.J., Braun M., Sümegei P., Tyth A.** Does soil change cause vegetation change or vice versa? A temporal perspective from Hungary // *Ecology*. — 1997. — Vol. 78, N 3. — P. 740–750.
21. **Campbell I.D., McAndrews J.H.** Forest disequilibrium caused by rapid Little Ice Age cooling // *Nature*. — 1993. — Vol. 366, N 6453. — P. 336–338.
22. **Moriz M.A., Krawchul M.A., Parisien M.-A.** Paleogeography: Understanding the ecological niche of fire // *PAGESnews*. — 2010. — Vol. 18, N 2. — P. 83–85.
23. **Валендик Э.Н.** Пожары как постоянно действующий природный фактор в бореальных лесах Евразии // Пожары в лесных экосистемах Сибири: Материалы конф. с междунар. участием. — Красноярск: Изд-во Ин-та леса СО РАН, 2008. — С. 15–18.
24. **Whitlock C., Bianchi M.M., Bartlei P.J., Markgraf V., Marlon J., Walsh M., McCoy N.** Postglacial vegetation, climate and fire history along the east side of the Andes (lat 41–42.5°S), Argentina // *Quaternary Research*. — 2006. — Vol. 66. — P. 187–201.
25. **Vannière B., Colombaroli D., Chapron E., Leroux A., Tinner W., Magny M.** Climate versus human-driven fire regimes in Mediterranean landscapes: the Holocene record of Lago dell'Accesa (Tuscany, Italy) // *Quaternary Science Reviews*. — 2008. — Vol. 27. — P. 1181–1196.
26. **Higuera P.E., Gavin D.G., Henne P.D., Kelly R.F.** Recent advances in the analysis and interpretation of sediment charcoal records // *PAGESnews*. — 2010. — Vol. 18, N 2. — P. 57–59.
27. **Fischer H., Berhrens M., Bock M., Richter U., Achmitt J., Loulergue L., Chappellaz J., Spahni R., Blunier T., Leuenberger M., Stocker T.F.** Changing boreal methane sources and constant biomass burning during the last termination // *Nature*. — 2008. — Vol. 452. — P. 864–867.

Поступила в редакцию 21.03.2022

После доработки 19.04.2022

Принята к публикации 05.07.2022