

Пожары и их значение в послеледниковый период Земли: обзор методов, достижений, наработок

М. А. ПУПЫШЕВА¹, Т. А. БЛЯХАРЧУК^{1, 2}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, Томск, просп. Академический, 10/3

²Томский государственный университет
634050, Томск, просп. Ленина, 36
E-mail: 455207@mail.ru; blyakharchuk@mail.ru

Статья поступила 30.08.2022

После доработки 12.12.2022

Принята к печати 24.01.2023

АННОТАЦИЯ

В статье обобщены результаты изучения долговременной истории палеопожаров в мире и отдельно на территории России. Рассматриваются перспективные и достоверные методы реконструкции локальной и региональной динамики палеопожаров – микро- и макроугольковый анализы. На основе обзора мировых и российских научных достижений анализируются подходы к изучению палеопожаров, методы обработки и идентификации микро- и макроскопических частиц угольков, включая новейшие средства программного обеспечения их идентификации (The Charcoal Quantification Tool, WinSEEDLETM) и анализа (CharAnalysis). Кроме того, рассматриваются возможности современных международных баз данных по палеопожарам (Global Charcoal Database, Reading Palaeofire Database), содержащих в себе актуальную информацию по локальной и региональной палеопожарной обстановке в голоцене. Анализируются проведенные региональные исследования по изучению палеопожаров в мире и на территории России, а также подчеркиваются перспективные направления и некоторые проблемы, связанные с реконструкцией палеопожаров. Обзор российских публикаций показал, что центральная часть и юг Восточно-Европейской равнины, а также юго-восток Западной Сибири являются наиболее изученными регионами в вопросах реконструкции динамики палеопожаров. Единичные подобные исследования проводились на Урале, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, но большая часть регионов России остаются не изученными в данном направлении. В последние годы основной акцент в российских исследованиях приходится на изучение локальной динамики пожаров на основе применения макроуголькового анализа. Анализ международных баз данных по палеопожарам (Global Charcoal Database, Reading Palaeofire Database) показывает, что эти сведения нуждаются в кардинальном пересмотре в отношении ключевых местонахождений на территории России. Авторами представлена обобщенная карта-схема России с указанием ключевых участков, на которых проведены реконструкции палеопожарной динамики с использованием микро- или макроуголькового анализов.

Ключевые слова: палеопожары, динамика пожаров, микро- и макроугольковый анализы, озерно-болотные отложения, голоцен.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение долговременной динамики пожаров является трудоемким, но очень перспективным направлением исследования истории

становления и изменения растительного покрова ландшафта. Большинство отечественных исследователей, которые рассматривали проблему выявления пожаров прошлого – па-

леопожаров, осуществляли реконструкцию пирогенных событий в ландшафтах по обнаруженным прослойкам угля в торфяных или почвенных толщах или с помощью дендрохронологического анализа [Николаев и др., 2012; Карпенко, Прокушкин, 2019; Bobrovsky et al., 2019]. Но перечисленные методы предоставляют неполные данные о пирогенной динамике прошлого, поскольку они имеют ряд ограничений. Применение дендрохронологического метода в целях выявления следов пожарной активности на кольцах деревьев ограничено временем жизни древесных пород. Обнаруженные угольные прослойки в толще отложений торфа или почв свидетельствуют о крупных локальных пожарах на определенной территории, но они являются лишь локальной частью реконструкции, не отражая всех произошедших пожаров в регионе. Эти методы совместно со спутниковым мониторингом дополняют исследования по современной истории пожаров, но не восстанавливают целостную историю долговременной динамики пирогенных событий в геосистемах.

На современном этапе разработаны эффективные и достоверные методы, позволяющие детально реконструировать как локальную, так и региональную динамику пожаров прошлого конкретных территорий и ландшафтов, основываясь на данных микро- и макроугольного анализа озерно-болотных (реже почвенных) отложений [Mooney, Tinner, 2011]. Начиная с 70–80-х годов XX в. появляются первые зарубежные исследования по вопросам восстановления долговременной динамики пожаров на основе данных методов [Heinselman, Wright, 1973; Clark, 1983; и др.]. В России опыт иностранных коллег стали перенимать лишь с конца 90-х годов XX в. Применение методов идентификации палеопожаров позволило реконструировать динамику пирогенных событий в течение длительного отрезка времени, охватывая практически весь послеледниковый период.

В последние годы появляется все больше работ по изучению палеопожаров в разных регионах мира [Hayashi et al., 2019], в том числе и на территории России [Бляхарчук, Курьина, 2019; Hoescker et al., 2020; Лойко и др., 2022]. Совершенствуются методики и подходы к исследованиям пожаров прошлого, включая внедрение в работу компьютер-

ных программ по определению локальных пожарных эпизодов – CharAnalysis [Higuera, 2009]. Организация международных баз данных по палеопожарам (Global Charcoal Database, Reading Palaeofire Database) – это еще один шаг к глобальной интеграции палеоэкологических исследований по вопросам реконструкции истории пожаров. Все больше появляется работ, в которых основной акцент делается на поиске ведущего фактора возникновения пожаров, а также их связей с растительным покровом, климатом и антропогенным воздействием [Harrison et al., 2010, 2021; Marlon, 2020].

Исследования, связанные с реконструкцией пирогенной истории прошлого, актуальны, поскольку сейчас на повестке дня стоит вопрос о глобальном изменении климата и его влиянии на все компоненты геосистем. Это влияние часто связано с усилением пожароопасной обстановки. Поскольку в последние десятилетия в мире и в России наблюдается увеличение пирогенной активности [Bondur et al., 2020; Kharuk et al., 2021], все чаще возникают вопросы о степени влияния антропогенного и климатического факторов на возникновение и динамику пожаров. Чтобы понять основные причины, воздействующие на современную динамику пожаров, необходимо обладать информацией об интенсивности и масштабах палеопожаров на протяжении всего послеледникового периода. Знание фонового уровня палеопожаров позволит сделать выводы о текущих тенденциях пожарной активности, а также выявить ведущие факторы возникновения пожаров на региональном и глобальном уровнях.

В данной работе представлен обзор новейших методов исследования палеопожаров, а также анализ зарубежных и российских публикаций, связанных с реконструкцией пирогенной истории. Впервые проводится обобщение данных изучения палеопожаров по регионам России, результаты которых отражены на карте-схеме, составленной авторами. Кроме того, рассматриваются перспективные направления по реконструкции истории палеопожаров и их связей с природно-климатическими условиями голоцена.

Целью нашего исследования является обзор и анализ современных методов, достижений, наработок и перспектив в области

изучения долговременной динамики палеопожаров на основе методов микро- и макроуголькового анализов различных природных архивов (торфяных и озерных отложений).

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ИСТОРИИ ПАЛЕОПОЖАРОВ

Любой пожар, природного или антропогенного происхождения, влияет на развитие и эволюцию геосистем. После пожаров “следы” пирогенной активности в виде частиц золы и угольков рассеиваются воздушными и водными потоками, а затем осаждаются в озерных, торфяных или почвенных отложениях, которые сохраняют палеоэкологическую и палеопожарную информацию на протяжении тысячелетий. Такие дисперсные частицы угольков могут быть выделены и подсчитаны специальными методами из ископаемых озерно-торфяных (реже почвенных) отложений (макроугольковый и антракологический анализы) или подсчитаны при проведении спорово-пыльцевого анализа (микроугольковый анализ) [Whitlock, Larsen, 2002; Mooney, Tinner, 2011].

Наиболее пригодными для реконструкции пожарной обстановки считаются озерно-болотные отложения, поскольку осадконакопление в них происходит непрерывно, и эти отложения сохраняют в своей толще палеоданные за многие тысячи лет [Conedera et al., 2009], а наличие большого количества органики позволяет датировать слои отложений. Почвенные отложения, которые также используют для восстановления истории палеопожаров, более подвержены внешним изменениям под действием биологических или физических факторов [Robin et al., 2013]. К тому же включение угля в почвы происходит нелинейно, затрудняя интерпретацию результатов.

Угольки в зависимости от размера, дальности переноса и условий осаднения могут иметь локальное, региональное, континентальное или даже глобальное происхождение [Conedera et al., 2009]. Для целей реконструкции палеопожаров принято деление частиц угольков по размеру: <100 мкм – микроскопические частицы (microscopic charcoal) и >100 мкм – макроскопические (macroscopic charcoal) [Whitlock, Larsen, 2002].

Микроугольковый анализ. В зарубежной литературе встречается две вариации обозна-

чения данного метода – “анализ микроскопических частиц угля” (microscopic charcoal analysis) [Patterson et al., 1987; Mooney, Tinner, 2011] и “микроугольковый анализ” (microcharcoal analysis) [Albert, Innes, 2015; Sweeney et al., 2022]. Микрочастицы угля (10–100 мкм) достаточно легкие, поэтому они могут подниматься и переноситься ветром на значительные расстояния (20–100 км и более) от очага пожара [Patterson et al., 1987; Conedera et al., 2009]. Их наличие в исследуемых слоях озерно-болотных отложений отражает региональную историю палеопожаров. Вместе с частицами угольков в воздух поднимаются пыльца и споры растений, сопоставимые по размеру и весу с микроскопическими частицами угольков. Микроугольки подчиняются тем же закономерностям переноса, рассеивания и захоронения, что пыльца и споры. Поэтому микроугольковый и спорово-пыльцевой анализы проводятся одновременно по одному и тому же микропрепарату при тех же методах обработки образцов и параметрах оптики [Whitlock, Larsen, 2002]. Результаты подсчета микроскопических частиц угля и пыльцы обычно приводятся совместно на спорово-пыльцевых диаграммах в процентном отношении к общему числу подсчитанных форм пыльцы и спор или в абсолютных единицах подсчета частиц микроугольков. Однако в последние годы доказана необходимость использования индекса концентрации микроугольков (CC–Charcoal Concentration) и индекса годовой аккумуляции микроугольков (CI–Charcoal Influx), которые можно рассчитать, используя подсчеты добавленного в образец при его обработке маркера, в качестве которого применяются таблетки с известным количеством спор *Lycoperidium* [Бляхарчук, Пупышева, 2022]. Этот подход позволяет устранить искажения данных о палеопожарах, возникающие из-за разной пыльцевой продуктивности ландшафтов и разной скорости осадконакопления в различных аккумулятивных бассейнах.

Обработка образцов для микроуголькового анализа включает в себя стандартные физико-химические процедуры, проводимые при пробоподготовке образцов для палинологического анализа [Erdtman, 1943; Гричук, Заклинская, 1948]. Суть этого метода пробоподготовки образцов состоит в дезинтеграции (высвобождении) пыльцы из органоминеральных комплек-

сов), обогащении (удаление загрязняющего субстрата), окрашивании и приготовлении препаратов для просмотра под световым микроскопом при увеличении в 400 раз. При этом в препарат с пылью и спорами попадают и микроугольки. Сопряженные микроугольковый и спорово-пыльцевой анализы позволяют реконструировать динамику растительного покрова (по спорово-пыльцевым данным) и региональных пожаров (по данным микроуголькового анализа). Это позволяет интерпретировать изменения в растительном покрове в связи с возможным влиянием пожаров [Whitlock, Larsen, 2002; Conedera et al., 2009].

Количественную оценку абсолютного содержания микрочастиц угля лучше представлять на спорово-пыльцевой диаграмме, используя специальные графические программы, например, Tilia 2.0.41 [Grimm, 2004]. Такие диаграммы отражают частоту и интенсивность региональных пожаров (или региональную пожарную активность) на фоне изменений растительного покрова, которые могут быть следствием определенных климатических условий. Как правило, максимальные пики угольков наблюдались в более засушливые и теплые периоды голоцена [Novenko et al., 2016; Бляхарчук и др., 2019].

При интерпретации результатов микроуголькового анализа необходимо учитывать геоморфологические и палеоэкологические особенности исследуемого болота или озера, поскольку максимальная концентрация частиц микроугольков не всегда свидетельствует о сухих и теплых климатических условиях. Так, обилие микроугольков в озерных и болотных отложениях может сильно увеличиваться во влажные периоды за счет привноса переотложенных микроугольков, когда поверхностными водами они более интенсивно смывались с обширной территории в реки и понижения рельефа не в сухие, а во влажные периоды климата. Такой эффект был обнаружен в низкогорном Алтае в пойменном торфянике в начальный период торфонакопления, когда болото периодически подтапливалось речными водами [Blyakharchuk, Pupyshcheva, 2022].

Макроугольковый анализ. В зарубежной литературе данный метод обозначается как “анализ макроскопических частиц угля” (*macroscopic charcoal analysis*) [Whitlock, Larsen, 2002] или “макроугольковый анализ”

(*macro-charcoal analysis*) [Feurdean et al., 2020]. Макрочастицы угля более крупные (>125 мкм) и тяжелые по сравнению с микроугольками. Макроугольки разносятся на незначительные расстояния от источника возгорания (до 1–2 км), и осаждаются на поверхность в пределах местного водораздела. Они захораниваются под вновь нарастающими слоями отложений в торфяниках, озерах и в понижениях рельефа, где происходит аккумуляция почвы. Крупные частицы макроугольков, сохранившиеся в отложениях после пожара, свидетельствуют о локальной пирогенной активности [Whitlock, Larsen, 2002; Mooney, Tinner, 2011] и служат надежными индикаторами палеопожаров в конкретных геосистемах.

Для проведения макроуголькового анализа используется стандартная методика обработки образцов [Whitlock, Larsen, 2002; Mooney, Tinner, 2011]. Образцы для анализа отбираются по всей колонке озерных отложений через каждые 1–5 см. После промывания дистиллированной водой и просеивания через сито с диаметром ячеек 125 мкм (используется суспензия, оставленная на сите) стандартных по объему образцов (1–2 см³) в суспензию добавляют 10 %-й раствор пиррофосфата натрия Na₄P₂O₇ (объем 15 мл) и оставляют на сутки, с последующим промыванием дистиллированной водой. Затем в них добавляют 6 %-й раствор перекиси водорода H₂O₂ (объем 20 мл) и выдерживают еще двое суток. Такая обработка обесцвечивает всю органику, но оставляет черный цвет угольков, которые становятся хорошо различимыми. После этого каждый образец просматривается под бинокулярным микроскопом при увеличении ×45 с использованием камеры Богорова для подсчета полного количества макроугольков. Для обработки болотных отложений вместо Na₄P₂O₇ используют 10 %-й раствор KOH (объемом 15 мл) с последующим нагревом на водяной бане [Whitlock, Larsen, 2002; Mooney, Tinner, 2011]. Все остальные этапы обработки, перечисленные выше, также применяются для данного типа образцов.

Статистическая обработка полученных данных концентрации макроугольков в отложениях осуществляется в программе Char Analysis [Higuera, 2009], адаптированной для среды программирования R. Программа позволяет рассчитать скорость аккумуляции

частиц угля (CHAR-индекс), определить фоновые и пороговые значения скорости накопления частиц угля для отделения локальных пожаров (в радиусе до 1–3 км) от региональных (на расстоянии до 20 км), а также выявить конкретные пожарные эпизоды. С помощью CharAnalysis осуществляется пересчет абсолютного количества частиц макроугольков в стандартном объеме образца (количество макрочастиц/1–2 см³) на скорость аккумуляции угля (частиц/см²/год). В качестве хронологической основы в программе используются расчеты возраста образцов по глубинно-возрастной модели отложений. В результате программа CharAnalysis строит график динамики локальной пирогенной активности с выявленными конкретными пожарными эпизодами и скоростью аккумуляции макрочастиц угля на протяжении всего развития озерно-болотного комплекса.

В целом, полученные данные макроуголькового анализа позволяют реконструировать локальную историю пожарной активности на конкретной территории, выявить взаимосвязи между изменениями растительности, климата и пожарами, а также установить возможные причины возникновения пирогенной активности и ее влияние на окружающие геосистемы [Whitlock et al., 2010; Feurdean et al., 2020; Blyakharchuk, Pupysheva, 2022]. Макроугольковый анализ может использоваться как самостоятельный метод, так и в совокупности с микроугольковым анализом для выявления достоверных тенденций в истории палеопожаров [Blyakharchuk, Pupysheva, 2022; Novenko et al., 2022].

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ПАЛЕОПОЖАРОВ В МИРЕ

Интерес к изучению палеопожаров возник в 60-х годах XX в. в связи с внедрением в научное сообщество концепции пожарного режима. Данный вопрос нашел отклик во многих регионах мира, в том числе в США и европейских государствах. Главным вопросом, на котором базировалась концепция, было исследование экологической роли пожаров [Gill, 1977; Conedera et al., 2009]. Начиная с 70–80-х годов XX в. появляются первые публикации по изучению долговременной истории палеопожаров. Данные исследования основывались

на новых методах выявления палеопожаров по озерно-болотным отложениям с помощью микро- и макроуголькового анализов [Heinselman, Wright, 1973; Clark, 1983; Patterson et al., 1987; Patterson, Backman, 1988; и др.]. Хотя подобные исследования начали проводиться немного раньше, но они не имели значительного распространения. Так, в 40-х годах XX в. Иверсен [Iversen, 1941] одним из первых определил, что частицы микроугольков на пыльцевых слайдах можно использовать как доказательство пожаров.

С введением и успешной практикой применения микро- и макроуголькового анализов – основных индикаторов долговременных палеопожаров – публикуются первые исследования, ориентированные на реконструкцию палеоэкологических и палеопожарных условий конкретных территорий [Barnosky, 1984]. Увеличивается число работ, посвященных комплексному изучению климата, растительности и пожаров в голоцене [Gouveia et al., 2002; Bowman et al., 2009], развивается методика уголькового анализа [Patterson et al., 1987; Whitlock, Larsen, 2002; Mooney, Tinner, 2011]. Кроме описания методик обработки образцов для микро- и макроуголькового анализов, авторы описывают общие особенности и свойства угольков, условия их аккумуляции и отложения, возможные связи между компонентами геосистем и вероятные причины возникновения пожаров [Whitlock, Larsen, 2002; Mooney, Tinner, 2011]. Разрабатываются первые программы идентификации древесного угля с использованием компьютерного анализа изображений – автоматизированной системы визуализации частиц угольков [Horn et al., 1992].

Совершенствуется методика уголькового анализа. В ряде работ [Enache, Cumming, 2006; Mustaphi, Pisaric, 2014; Feurdean et al., 2017], например, выделяются морфотипы частиц угольков: злаковые растения, травы, листья деревьев, древесина, корни, хвоя и т. д. С помощью этого подхода восстанавливается тип горевшей растительности. Проводятся эксперименты по сжиганию определенных видов растений (например, болотных) для дальнейшей интерпретации частиц угольков по их морфологическим признакам и детализации истории пожаров [New et al., 2016].

По мере распространения данных методов исследования модернизируются техноло-

гии идентификации пожарных эпизодов с помощью разработки новых программ и средств программного обеспечения: CharAnalysis [Higuera P., 2009], The Charcoal Quantification Tool (CharTool) [Snitker, 2020] и WinSEED-LETM (<http://regent.qc.ca/>, дата обращения 10 июля 2022 г.). CharAnalysis – пакет программ, адаптированный для среды программирования R. С помощью этой программы можно рассчитать скорость аккумуляции частиц макроугольков, фоновое и пороговое значения концентрации угля в отложениях, а также выявить локальные пожарные эпизоды. CharTool – программа для определения, идентификации и классификации морфологического типа угля. WinSEEDLETM (Regent Instruments Inc) предназначена для анализа изображений. С помощью данного программного обеспечения исследователи могут выявлять и подсчитывать частицы угольков.

Появляются работы, посвященные исследованию истории палеопожаров конкретных регионов мира: Австралии [Sluiter et al., 2016; Graves et al., 2019; и др.], Северной Америки [Turetsky et al., 2004; Hallett, Anderson, 2010; Walsh et al., 2017; Hoescker et al., 2020; и др.], Европы [Pitkänen et al., 2001; Doyen et al., 2015; Uhl et al., 2022; и др.], Южной Америки [Gouveia et al., 2002; de Moraes et al., 2020; и др.], Азии [Proske et al., 2010; Hayashi et al., 2019; и др.] и Африки [Hubau et al., 2013; Dupont, Schefuß, 2018; и др.]. Возросший интерес к реконструкции палеопожаров в разных частях мира с использованием микро- и макроуголькового анализов говорит об актуальности данного направления исследований. Помимо общих вопросов реконструкции истории растительности, пожаров и климата на определенных территориях, рассматриваются возможные связи между этими компонентами [Harrison et al., 2010, 2021; Marlon, 2020]. В этих исследованиях пожары рассматриваются как естественный фактор эволюции, способствующий поддержанию и увеличению биоразнообразия, и как реакция на изменение климатических условий. Кроме того, авторы подвергают сомнению доминирующую роль человека в увеличении современной пожарной активности, выводя на первый план климатический фактор. Рассматривается проблема контроля пожаров посредством изменения в землепользовании, поскольку, с одной

стороны, это приводит к ликвидации пожаров и уменьшению последствий от пожаров для социально-экономической инфраструктуры, а с другой стороны, вносит дисбаланс в естественный процесс развития экосистем, иной раз создавая благоприятные условия для возникновения еще более мощных пожаров [Harrison et al., 2021]. Еще одним актуальным направлением палеопожарных исследований является выявление механизмов контроля и изменчивости пожаров и их моделирование для составления вероятных прогнозов по динамике пожаров [Harrison et al., 2010, 2021]. Совершенствуются методы и подходы к изучению истории пожаров с точки зрения влияния климатического фактора на их распространение [Harrison et al., 2021]. С другой стороны, возникает понимание, что сжигание биомассы само по себе воздействует на климат и является компонентом региональной динамики климата, связанным с динамикой глобальной системы Земли и ключевым звеном взаимодействия человека с климатом и биогеосистемами.

Развитие данных направлений и накопление значительного материала по палеопожарным реконструкциям привели к созданию международных баз данных по пожарам [Harrison et al., 2022]. В 2006 г. была создана глобальная рабочая группа по палеопожарам (The Global Paleofire Working Group, GPWG). Ее целью был сбор и анализ данных о содержании дисперсного угля в отложениях разного генезиса по всему миру путем создания Глобальной базы данных по палеопожарам (Global Charcoal Database, GCD) [Power et al., 2008; Harrison et al., 2022]. На данный момент базы данных управляются международной палеопожарной сетью – Глобальной базой данных палеопожаров (Global Paleofire Database, GPD) (<https://www.paleofire.org/>) [Hawthorne et al., 2018]. По мере того как обновлялись и дополнялись данные по реконструкции палеопожаров, в базах накопилось значительное количество несоответствий в предоставленной информации, дублирование материала, отсутствие актуальных данных [Harrison et al., 2022]. По этой причине недавно разработана новая расширенная база данных по палеопожарам – Reading Palaeofire Database (RPD) [Harrison et al., 2022], включающая в себя выверенные данные из следующих баз:

PANGAEA (<https://www.pangaea.de/>), Международной многопрофильной базы данных по палеопожарам (NOAA) (<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data>), базы палеоэкологических данных Neotoma (<https://www.neotomadb.org/>) и др. В RPD представлена обновленная информация по региональной и локальной палеопожарной обстановке с калиброванными радиоуглеродными датами. На данный момент RPD содержит 1676 индивидуальных угольковых записей из 1480 ключевых участков по всему миру [Harrison et al., 2022]. На сегодняшний день создание баз данных – это одно из актуальных направлений в глобальной реконструкции истории палеопожаров, которое способствует построению более достоверных моделей глобальной пожарной активности в прошлой истории Земли.

Таким образом, на сегодняшний день основными направлениями в зарубежных исследованиях по изучению истории палеопожаров являются: реконструкция локальных и региональных палеопожарных событий для выявления динамики пожаров в голоцене; накопление базы данных по истории палеопожаров для выявления локальных и глобальных закономерностей; выявление связей между пожарами и другими компонентами геосистем (растительностью, климатом и т. д.), включая оценку антропогенного воздействия; совершенствование методов изучения палеопожаров, включая разработку программного обеспечения; определение ведущих факторов возникновения пожаров; моделирование пожарной обстановки для составления прогнозов горения; модернизация методов контроля и регулирования современных пожаров.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ПАЛЕОПОЖАРОВ В РОССИИ

В отличие от зарубежных стран, в России палеоэкологические исследования по изучению долговременной динамики палеопожаров начали проводиться только с конца 1990-х – начала 2000-х годов группой иностранных ученых из США, Канады и Германии [Clark et al., 1998]. В 2001 г. опубликована работа финских ученых [Turunen et al., 2001] по изучению темпов накопления углерода и роли пожаров за 8000 календарных лет (кал. л.) в его динамике на примере болотных

комплексов бореальной зоны Западной Сибири (Ханты-Мансийского автономного округа).

С 2004 г. появляются первые публикации российских ученых, посвященные изучению палеопожаров. Пионерным исследованием в этом направлении стало изучение позднеледниковой и голоценовой динамики климата, растительности и пожаров, проведенное Т. А. Бляхарчук на территории Улаганского высокогорного плато Республики Алтай [Blyakharchuk et al., 2004] по озерным отложениям. В этой работе впервые в России применялся метод микроуголькового анализа для выявления региональной динамики палеопожаров наряду со спорово-пыльцевым анализом, раскрывшим динамику растительного покрова Центрального Алтая с позднеледниковья до современности. Через несколько лет вышла аналогичная публикация, связанная с реконструкцией палеоэкологических условий и палеопожаров голоцена в течение последнего тысячелетия в Республике Алтай на примере отложений оз. Телецкое [Andreev et al., 2007]. В 2009 г. опубликована статья, посвященная исследованиям взаимосвязи между изменением растительности и историей пожаров в сибирских бореальных лесах на основе анализа донных отложений озер Сугун и Чай-Ку (Республика Якутия) [Katamura et al., 2009].

Во втором десятилетии XXI в. палеоэкологические исследования по изучению долговременной динамики палеопожаров, климата и растительности стали массово проводиться по всей территории России: на Восточно-Европейской равнине [Novenko et al., 2016, 2018, 2019, 2021; Дьяконов и др., 2017; Новенко и др., 2018; Куприянов, Новенко, 2019, 2021; Bobrovsky et al., 2019; Mazei et al., 2020; Mergelov et al., 2020; Баталова, Мазей, 2021; Куприянов и др., 2021], в Западной Сибири и на Алтае [Бляхарчук и др., 2015, 2019, 2021; Lamentowicz et al., 2015; Feurdean et al., 2019, 2020, 2021; Amon et al., 2020; Rudaya et al., 2020; Жилич, Рудая, 2021; Пупышева, Бляхарчук, 2021; Бляхарчук, 2022; Лойко и др., 2022; Burdin et al., 2022; Blyakharchuk, Pupyshva, 2022; Pupyshva, Blyakharchuk, 2022], Восточной Сибири [Гренадерова и др., 2021; Куприянов и др., 2021a; Мазей и др., 2021; Barhoumi et al., 2021; Glückler et al., 2021; Карпенко и др., 2022; Рогозин и др., 2022;

Novenko et al., 2022] и на Дальнем Востоке [Разжигаева и др., 2016; Pendea et al., 2017; Bobrovsky, 2019]. Примерно с 2019 г. и по настоящее время наблюдается повышенный научный интерес и рост публикационной активности подобных исследований.

Наиболее изученным регионом Восточно-Европейской равнины в области реконструкции истории палеопожаров является территория Мещерской низменности и Мордовского государственного природного заповедника [Novenko et al., 2016, 2018, 2021; Дьяконов и др., 2017; Новенко и др., 2018; Куприянов, Новенко, 2019, 2021; Bobrovsky et al., 2019; Баталова, Мазей, 2021]. Так, в юго-восточной части Мещерской низменности (Рязанская обл.) [Novenko et al., 2016] реконструирована динамика растительности и межпожарных интервалов за 8500 кал. л. н. Выявлена наиболее высокая повторяемость пожаров 8500–4500 кал. л. н. и 3500–2000 кал. л. н. Возросшую пирогенную активность авторы связывают с влиянием сухих и теплых климатических условий, а также с местными физико-географическими особенностями территории. Кроме того, они рассматривают влияние пожаров на сохранение и увеличение биоразнообразия. Аналогичное исследование Мещерской низменности на примере других торфяников [Дьяконов и др., 2017] показало, что динамика ландшафтов за 8000 кал. л. н. в основном определялась пожарными режимами. Найденные в толще отложений прослойки угля (2–5 см) позволили реконструировать историю пожаров, а также связать тенденцию их распространения с изменениями климата. На существенное снижение пожарной активности после 2000 кал. л. н. могли оказывать холодные и влажные условия климата, а также высокий уровень грунтовых вод в этот период. Кроме того, выявлено влияние пожаров на распространение березы и сосны. Изучению палеопожаров на этой же территории посвящены работы ряда других исследователей [Куприянов, Новенко, 2019; Bobrovsky et al., 2019; Баталова, Мазей, 2021].

Не менее изучена история палеопожаров в пределах Мордовского государственного природного заповедника. В одной из работ [Новенко и др., 2018] реконструированы изменения растительного покрова и пожарного режима за 7000 кал. л. н. Выявленные ин-

тервалы пожарной активности по найденным прослойкам угля в отложениях (6850–5600, 5000–3000, 3000–1500, 1000 и 50–70 кал. л. н.) свидетельствуют о прямом влиянии климата на распространение пожаров в голоцене, при том что сами пожары способствовали распространению некоторых древесных видов.

Масштабные палеопожарные исследования также проведены в Республике Коми [Barhoumi et al., 2019; Горбач и др., 2021; Дымов и др., 2021], в Калужской области [Novenko et al., 2019; Куприянов и др., 2021], на Валдайской возвышенности [Mazei et al., 2020] и в Архангельской области [Mergelov et al., 2020].

В Западной Сибири наиболее изучены в вопросах долговременной динамики палеопожаров территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО), Томской области и гор Южной Сибири. Исследования по изучению истории палеопожаров проведены в пределах среднетаежной подзоны Западной Сибири (ХМАО) [Lamentowicz et al., 2015; Amon et al., 2020; Бляхарчук и др., 2021; Лойко и др., 2022]. В 2021 г. вышла работа по реконструкции истории палеопожаров за последние 12000 кал. л. [Бляхарчук и др., 2021]. В этом исследовании на основе анализа отложений озера “S14” (ХМАО) реконструирована голоценовая динамика пожарной активности, а также выявлена связь между изменениями климата и интенсивностью пожаров: в более сухие периоды голоцена наблюдалась повышенная пожарная активность. Кроме того, в предбореальный период зафиксирована максимальная интенсивность пожаров (310 частиц/2 см³), которую авторы объясняют сухостью климата.

Подобные палеопожарные исследования активно проводятся и на территории Томской области [Бляхарчук и др., 2019; Feurdean et al., 2019, 2020, 2021]. Опубликовано несколько работ по изучению торфяных отложений болота Плотниково [Feurdean et al., 2019, 2020]. В этих исследованиях помимо реконструкции частоты и типов палеопожаров и определения реакции биогеосистем на изменение режимов пожаров, было подтверждено существование положительной связи между увеличением интенсивности пожаров и сухими климатическими условиями, а также определено влияние разных типов участков болота на глубину горения и количество выделяемого углерода.

В пределах гор Южной Сибири реконструирована история палеопожаров на примере озер Манжерокское [Бляхарчук и др., 2015], Малое Яровое [Rudaya et al., 2020; Жилич, Рудая, 2021], Кучук [Rudaya et al., 2020], болота Моховое [Бляхарчук, 2022]. Во всех этих работах помимо реконструкции истории палеопожаров рассматривается взаимосвязь между динамикой пожаров, климата и растительностью в голоцене.

Впервые для Барабинской лесостепи Новосибирской области проведена реконструкция истории палеопожаров за 3300 кал. л. [Pupysheva, Blyakharchuk, 2022]. Выявленные 18 локальных пожарных эпизодов и высокая скорость аккумуляции частиц угля (до ~600 частиц на см²/год) свидетельствуют об интенсивном характере горения в лесостепной зоне Западной Сибири. Основной пик пирогенной активности, произошедший 1200–1000 кал. л. н., вероятно, был связан с теплыми и сухими условиями средневекового климатического оптимума. На территории Республики Хакасия [Burdin et al., 2022] реконструирована история пожаров за 1400 кал. л., причем в последние 100 кал. л. авторы отмечают резкое увеличение пожарной активности, связывая это с антропогенным фактором.

В Кемеровской области в пределах Шорского национального парка (Горная Шория) изучена динамика палеопожаров и растительности за последние 2800 кал. л. [Пупышева, Бляхарчук, 2021; Blyakharchuk, Pupysheva, 2022]. Сравнивая полученные данные с палеоклиматическими реконструкциями для Западной Сибири, авторы выявили связь пожаров с динамикой увлажнения климата. Определено, что данные микрогольцового анализа не всегда совпадают с результатами макрогольцового анализа, так как обилие микрогольцов может сильно возрастать за счет переотложения их поверхностно-сточными водами во время влажных периодов, в то время как максимумы макрогольцовых данных в основном приходятся на более сухие периоды климата.

Восточная Сибирь и Дальний Восток менее изучены в палеопожарном плане в отличие от других регионов России. В Восточной Сибири наиболее исследована территория Красноярского края [Гренадерова и др., 2021; Куприянов и др., 2021a; Мазей и др., 2021; Карпенко и др., 2022; Рогозин и др., 2022; Novenko et al., 2022].

В пределах средней тайги Приенисейской Сибири реконструирована динамика палеопожаров за 12000 кал. л. [Карпенко и др., 2022]. Выявленные пики пожаров свидетельствуют о повышенной пирогенной активности в раннеголоценовое время. Отмечены пики палеопожаров: 11600, 11150, 10500, 7800, 5900, 5450, 4600 кал. л. н. Авторы отмечают явную связь между повышенной пожарной активностью и сухими климатическими условиями голоцена этих временных отрезков. При этом пожары последних 2000 кал. л. они связывают с антропогенным воздействием. Также отмечена ведущая роль пожаров в активизации лесообразовательного процесса и смене лесных фитоценозов. На примере анализа озерных отложений Центрально-Тунгусского плато реконструирована динамика палеопожаров за 2500 л. [Рогозин и др., 2022]. При этом авторы отмечают высокую интенсивность пожаров ранее 1500 л. н., опровергая факт увеличения пожарной активности в новейшее время для данной территории. Кроме того, авторам удалось найти след Тунгусской катастрофы 1908 г. с помощью обнаруженного пика макрочастиц угля в отложениях данного временного периода.

Эвенкийский регион представляет большой интерес для многих исследователей. Так, проведены работы по реконструкции палеопожаров на болоте Тура [Мазей и др., 2021] за последние 3500 лет, Герви [Куприянов и др., 2021a] и других озерно-болотных комплексов, расположенных в разных ландшафтах в зоне вечной мерзлоты [Novenko et al., 2022]. Авторами отмечается резкое увеличение числа пожаров за последние 250 лет, но поскольку исследуемые территории удалены от основных регионов антропогенного воздействия, такую тенденцию в динамике пожаров связывают с ведущей ролью климата.

О влиянии климатических условий голоцена на возникновение и интенсивность пирогенной активности также свидетельствуют исследования, проведенные на южном берегу озера Байкал [Barhoumi et al., 2021] и на юго-западе Республики Якутия [Glückler et al., 2021].

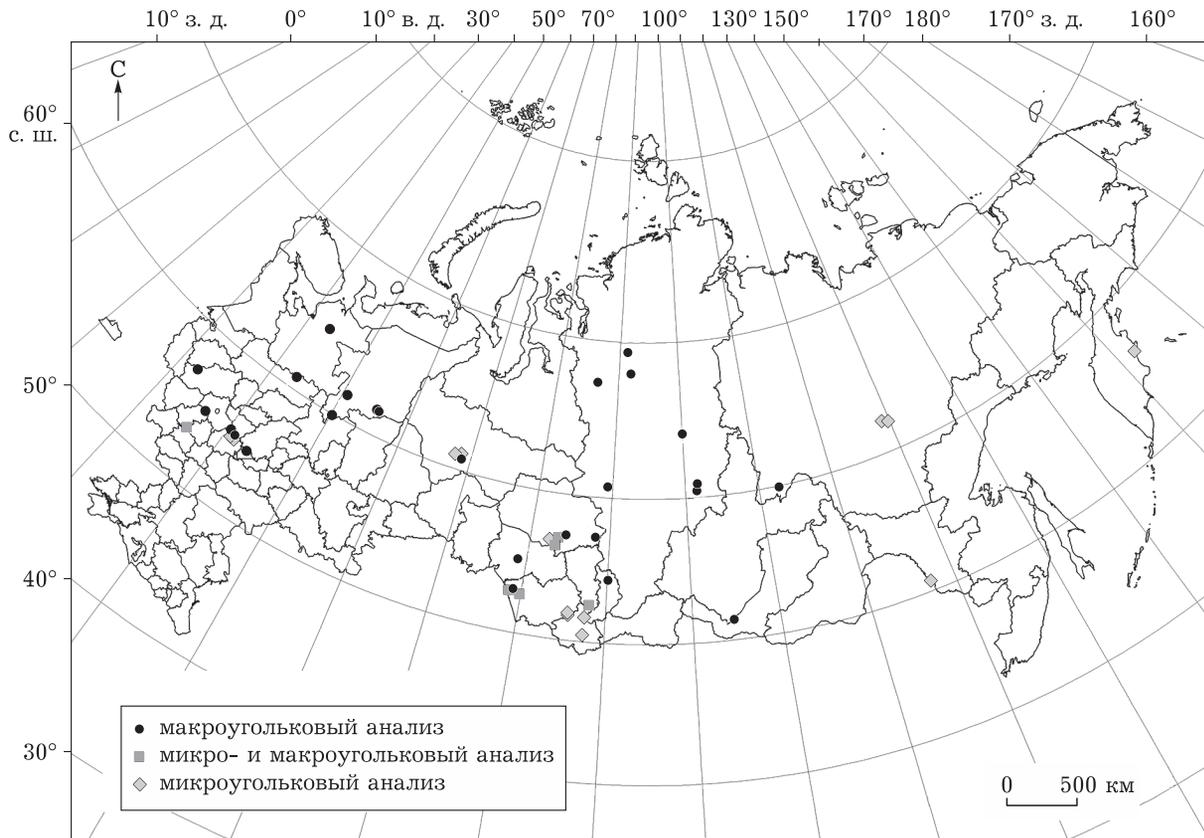
На территории Дальнего Востока на основе полученных палеопожарных реконструкций [Разжигаева и др., 2016; Pendea et al., 2017; Bobrovsky, 2019] исследователи делают выводы о ведущей роли сухих и теплых условий климата в увеличении пирогенной актив-

ности, за исключением последних столетий, когда антропогенное влияние стало основной причиной пожаров.

В данном региональном обзоре представлены основные работы в области реконструкции долговременной истории палеопожаров на территории России. Основной акцент делался на исследованиях с использованием микро- и макроуголькового анализов озерно-болотных отложений. Важно отметить, что несмотря на мировую тенденцию увеличения интереса к палеоэкологическим исследованиям и реконструкциям палеопожаров, территория России мало изучена в данном направлении. Согласно базам данных о палеопожарах (GPD; RPD), на территории России зафиксировано примерно 40 ключевых участков, содержащих информацию о микро- и макроугольках. Инспектирование зарубежных баз данных показало, что, большинство из указанных для России точек содержат неполные сведения по возрасту отложений и количеству угольков, либо эти данные полностью

отсутствуют. Поэтому в данном обзоре мы не представили участки, информация о которых содержится в международных базах данных о палеопожарах (GPD; RPD). Вопрос обновления базы данных по России или создания собственной базы данных палеопожаров остается актуальным.

Обобщив имеющийся материал, представляем региональные данные по исследованиям долговременной истории пожаров на территории России в виде карты-схемы (рисунок). На рисунке представлены только те участки, реконструкции которых проводились с использованием микро- и макроуголькового анализов. Территория юга и юго-востока Западной Сибири и центральная часть Восточно-Европейской равнины содержат больше всего участков, на основе которых реконструирована региональная или локальная динамика палеопожаров. Наименее изученными регионами являются север и юг Восточно-Европейской равнины, практически вся территория Западной Сибири, за исключением юга и юго-востока,



Обзорная карта-схема реконструкции палеопожаров России на основе методов микро- и макроуголькового анализов (сост. авторами)

а также Восточная Сибирь и Дальний Восток. Таким образом, территория России является перспективной для проведения новых палеопожарных исследований, поскольку в преобладающей части регионов нет данных по долговременной истории палеопожаров.

Анализ опубликованных исследований по реконструкции региональной и локальной динамики пожаров на территории России позволил определить перспективные направления их изучения. Пространственно-временная неоднородность в изучении палеопожаров на территории России и значительный недостаток данных по реконструкции региональной и локальной истории палеопожаров вызывает ряд проблем не только по восстановлению долговременной истории пожаров, но и в интерпретации и корреляции полученных результатов с другими палеоэкологическими реконструкциями. Для достоверной оценки динамики палеопожаров на территории России необходимо проведение дополнительных исследований по реконструкции пирогенных событий для каждого физико-географического региона и природных зон, расположенных в их пределах. На сегодняшний день исходя из имеющихся палеопожарных реконструкций возможно выявление лишь локальных закономерностей по динамике пожаров, а также общих региональных тенденций в наиболее изученных в палеопожарном плане природных подзонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. Одним из перспективных направлений является прогнозирование и моделирование будущих пожарных событий для контроля и регулирования пожароопасной обстановки. Это можно осуществить, базируясь на данных о динамике и интенсивности пожаров с позднеледниковья до современности. Но поскольку данные по реконструкции истории палеопожаров по территории России находятся в разрозненном и неупорядоченном состоянии, а зарубежная база данных имеет значительный ряд неточностей и ошибок, необходимо создание отечественного аналога базы данных по палеопожарам. Материалы российской палеопожарной базы данных позволят достоверно и детально восстановить историю пирогенных событий голоцена, проследить тенденцию изменения пожарной ситуации, а также составить прогноз пожарной активности как по регионам, так и в целом по территории России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во всем мире растет число палеоэкологических исследований по изучению долговременной динамики пожаров, растительности и климата с использованием методов микро- и макроуголькового анализов. Данное научное направление является особенно актуальным на фоне возрастающих глобальных изменений климата и связанных с ним катастрофических событий. На международном уровне данная методика поддерживается и используется научными сообществами на протяжении 50 лет. За последние десять – пятнадцать лет в России стали перенимать опыт зарубежных ученых в вопросах реконструкции истории палеопожаров, основываясь на методах макро- и микроуголькового анализов. Поскольку значительная часть России остается малоизученной в данном направлении, дальнейшие исследования по изучению голоценовой истории пожаров являются очень перспективными для нашей территории. Остаются открытыми вопросы, касающиеся особенностей голоценовой динамики пожаров в зависимости от изменений растительного покрова и климата в разных природно-географических зонах России. Достоверно не выявлены ведущие факторы, влиявшие на возникновение пожаров в голоцене. Перспективным направлением считается разработка моделей и прогнозов будущих пожарных событий, а также создание отечественной базы данных по изучению палеопожаров.

Работа выполнена при поддержке проекта Российского научного фонда № 23-27-00217.

ЛИТЕРАТУРА

- Баталова В. А., Мазей Н. Г. Динамика растительности и пожаров юго-восточной Мещеры в голоцене: реконструкция по палеоэкологическим данным // Изв. Рус. геогр. о-ва. 2021. Т. 153, № 3. С. 34–46.
- Бляхарчук Т. А. Динамика растительного покрова западных предгорий Алтая в позднеледниковье и голоцене по данным спорово-пыльцевого анализа торфяных отложений болота Моховое // Актуальные проблемы современной палинологии: материалы XV Всерос. палинол. конф., посвящ. памяти д-ра геол.-мин. наук В. С. Волковой и д-ра геол.-мин. наук М. В. Ошурковой. (Москва, 1–3 июня 2022 г.) / отв. ред. Н. С. Болиховская; ред.-состав. Д. А. Мамонтов. М.: ООО “Изд-во ГЕОС”, 2022. С. 53–56. doi: 10.54896/9785891188532_2022_11
- Бляхарчук Т. А., Пупышева М. А. Индикация пожаров в тысячелетней истории Центрального Алтая // География и природ. ресурсы. 2022. № 4. С. 128–136.

- Бляхарчук Т. А., Дегтярева М. А., Харденбрук М. В. 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 полев. симп. (Ханты-Мансийск, 28 июня – 08 июля 2021 г.). Томск: Изд-во Том. ун-та, 2021. С. 161–163.
- Бляхарчук Т. А., Курьина И. В., Пологова Н. Н. Позднеголоценовая динамика растительного покрова и увлажненности климата юго-восточного сектора Западно-Сибирской равнины по данным палинологического и ризологического исследований торфяных отложений // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2019. № 45. С. 164–189.
- Бляхарчук Т. А., Митрофанова Е. Ю., Эйрих А. Н. Комплексные палеоэкологические исследования донных отложений озера Манжерокское в предгорьях Алтая // Тр. Карел. науч. центра РАН. 2015. № 9. С. 81–99.
- Горбач Н. М., Кутявин И. Н., Старцев В. В., Дымов А. А. Динамика пожаров на Северо-Востоке европейской части России в голоцене // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 104–110.
- Гренадерова А. В., Мандрыка П. В., Ван С., Сенотрусова П. О., Михайлова А. Б., Цюань Ц. Комплексные археолого-палеоэкологические исследования голоценового хронорядя в южной тайге Среднего Енисея // *Stratum plus*. Археология и культурная антропология. 2021. № 6. С. 299–313. doi: 10.55086/sp216299313
- Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемой пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географиздат, 1948. 223 с.
- Дымов А. А., Старцев В. В., Горбач Н. М., Паюсова И. В., Габов Д. Н., Доннерхан О. Сравнение методов определения соединений углерода пирогенно измененных органических соединений // Почвоведение. 2021. № 11. С. 1332–1345. [Dymov A. A., Startsev V. V., Gorbach N. M., Pausova I. N., Gabov D. N., Donnerhack O. Comparison of the Methods for Determining Pyrogenically Modified Carbon Compounds // *Eur. Soil Sci.* 2021. Vol. 54, N 11. P. 1668–1680.]
- Дьяконов К. Н., Новенко Е. Ю., Мироненко И. В., Куприянов Д. А., Бобровский М. В. Роль пожаров в динамике ландшафтов юго-восточной Мещеры в голоцене // Докл. АН. 2017. Т. 477, № 2. С. 233–239.
- Жилич С. В., Рудая Н. А. Реконструкция палеопожаров Кулундинской степи для последних 3500 лет по данным из донных отложений озера Малое Яровое // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2021. Т. 27. С. 433–440. doi: 10.17746/2658-6193.2021.27.0433-0440
- 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.
- Карпенко Л. В., Гренадерова А. В., Михайлова А. Б., Подобуева О. В. Реконструкция локальных пожаров в голоцене по данным содержания макрочастиц угля в торфяной залежи в долине р. Дубчес // Сиб. лесн. журн. 2022. № 4. С. 3–13. doi: 10.15372/SJFS20220401.
- Куприянов Д. А., Новенко Е. Ю. Реконструкция динамики лесных пожаров Центральной Мещеры в голоцене (по данным палеоантракологического анализа) // Сиб. экол. журн. 2019. Т. 26, № 3. С. 253–263. [Kupriyanov D. A., Novenko E. Yu. Reconstruction of the Holocene dynamics of forest fires in the central part of Meshcherskaya lowlands according to antracological analysis // *Contemporary Problems of Ecology*. 2019. Vol. 12, N 3. P. 204–212.]
- Куприянов Д. А., Новенко Е. Ю. Реконструкция истории лесных пожаров в южной части Мордовского заповедника в голоцене по данным анализа макроскопических частиц угля в торфе // Тр. Мордовск. гос. природ. заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. № 26. С. 176–192.
- Куприянов Д. А., Новенко Е. Ю., Мазей Н. Г., Прокушкин А. С. Динамика лесных пожаров в центре и на северо-западе Среднесибирского плоскогорья в позднем голоцене: реконструкция по данным изучения макроскопических частиц угля в торфе // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы Шестого Междунар. полев. симп. (Ханты-Мансийск, 28 июня – 08 июля 2021 г.). Томск: Изд-во Том. ун-та, 2021а. С. 167–169.
- Куприянов Д. А., Новенко Е. Ю., Мазей Н. Г., Шатунов А. Е., Бородин К. А. История лесных пожаров центральной части Восточно-Европейской равнины за последние 8500 лет по данным палеоантракологического анализа // Пути эволюционной географии. Вып. 2: материалы II Всерос. науч. конф., посвящ. памяти профессора А. А. Величко (Москва, 22–25 ноября 2021 г.). М.: Ин-т географии РАН, 2021б. С. 524–526.
- Лойко В. С., Кузьмина Д. М., Дудко А. А., Константинов А. О., Васильева Ю. А., Курасова А. О., Лим А. Г., Кулижский С. П. Древесные угли в подзолах средней тайги Западной Сибири как индикатор истории геосистем // Почвоведение. 2022. № 2. С. 176–192. doi: 10.31857/S0032180X22020083
- Мазей Н. Г., Прокушкин А. С., Куприянов Д. А., Новенко Е. Ю. Влияние пожаров на динамику лесных экосистем Центральной Эвенкии в последние 3500 лет // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 2021. № 5. С. 78–90.
- Николаев А. Н., Исаев А. П., Габышева Л. П. Дендрохронологические исследования пожаров на территории стационара “Нелегер” в Центральной Якутии // Природ. ресурсы Арктики и Субарктики. 2012. № 4. С. 40–44.
- Новенко Е. Ю., Мазей Н. Г., Куприянов Д. А., Волкова Е. М., Цыганов А. Н. Динамика растительности и экологических условий в центре Восточно-Европейской равнины в голоцене // Экология. 2018. № 3. С. 184–193. [Novenko E. Yu., Mazei N. G., Kupriyanov D. A., Volkova E. M., Tsyganov A. N. Holocene dynamics of vegetation and ecological conditions in the center of the East European Plain // *Rus. J. Ecol.* 2018. Vol. 49, N 3. P. 218–225.]
- Пупышева М. А., Бляхарчук Т. А. Изучение палеопожаров Горной Шории на примере болота Малый Лабыш // Человек и природа – взаимодействие на особо охраняемых природных территориях: материалы докл. Четвертой Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Новокузнецк, 23–25 сентября 2021 г.). Новокузнецк: Кузбасск. гум.-пед. ин-т, 2021. С. 123–129.
- Разжигаева Н. Г., Ганзей Л. А., Гребенникова Т. А., Мохова Л. М., Паничев А. М., Копотева Т. А., Арсланов Х. А., Максимов Ф. Е., Старикова А. А., Крупская В. В. Палеоклиматическая и палеоландшафтная записи в голоценовых отложениях среднего течения реки Бикин (Приморье) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 5. С. 86–100.

- Рогозин Д. Ю., Болобаншичкова Г. Н., Бурдин Л. А., Мейдус А. В. Угольные макрочастицы в донных отложениях озер Центрально-Тунгусского плато (Сибирь, Эвенкия) как индикатор динамики лесных пожаров и возможный след Тунгусской катастрофы 1908 г. // Сиб. экол. журн. 2022. Vol. 29, N 4. P. 404–414. [Rogozin D. Yu., Bolobanshchikova G. N., Burdin L. A., Meidus A. V. 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 // *Contemporary Problems of Ecology*. 2022. Vol. 15, N 4. P. 337–344.]
- Albert B., Innes J. Multi-profile fine-resolution palynological and micro-charcoal analyses at Esklets, North York Moors, UK, with special reference to the Mesolithic-Neolithic transition // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2015. Vol. 24, N 3. P. 357–375.
- Amon L., Blaus A., Alliksaar T., Heinsalu A., Lapshina E., Liiv M., Reitalu T., Vassiljev J., Veski S. Postglacial flooding and vegetation history on the Ob River terrace, central Western Siberia based on the palaeoecological record from Lake Svetlenkoye // *The Holocene*. 2020. Vol. 30, N 5. P. 618–631.
- Andreev A. A., Pierau R., Kalugin I. A., Daryin A. V., Smolyaninova L. G., Diekmann B. Environmental changes in the northern Altai during the last millennium documented in Lake Teletskoye pollen record // *Quaternary Research*. 2007. Vol. 6, N 3. P. 394–399.
- Barhoumi C., Peyron O., Joannin S., Subetto D., Kryshen A., Drobyshchev I., Girardin M. P., Brossier B., Paradis L., Pastor P., Alleaume S., Ali A. A. Gradually increasing forest fire activity during the Holocene in the northern Ural region (Komi Republic, Russia) // *The Holocene*. 2019. Vol. 29, N 12. P. 1906–1920.
- Barhoumi C., Vogel M., Dugerdil L., Limani H., Joannin S., Peyron O., Ali A. A. Holocene Fire Regime Changes in the Southern Lake Baikal Region Influenced by Climate-Vegetation-Anthropogenic Activity Interactions // *Forests*. 2021. Vol. 12, N 8. 978. <https://doi.org/10.3390/f12080978>
- Barnosky C. W. Late Pleistocene and early Holocene environmental history of southwestern Washington State, USA // *Can. J. Earth Sci.* 1984. Vol. 21, N 6. P. 619–629.
- Blyakharchuk T. A., Pupyshcheva M. A. Dynamics of Vegetation and Fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene According to Palynological and Charcoal Research into the Maly Labysh Mire // *Contemporary Problems of Ecology*. 2022. Vol. 15, N 2. P. 109–117.
- 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 // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecology*. 2004. Vol. 209, N 1–4. P. 259–279.
- Bobrovsky M. V. The history of fires in old-growth Korean pine-broadleaved forests in the middle reaches of the Bikin River (western slope of the Sykhote-Alin mountains) according to dendrochronological and pedoanthracological data // *Rus. J. Ecosys. Ecol.* 2019. N 1. P. 1–27.
- Bobrovsky M. V., Kupriaynov D. A., Khanina L. G. Anthracological and morphological analysis of soils for the reconstruction of the forest ecosystem history (Meshchera Lowlands, Russia) // *Quarter. International*. 2019. Vol. 516. P. 70–82.
- Bondur V. G., Mokhov I. I., Voronova O. S., Sitnov S. A. Satellite monitoring of Siberian wildfires and their effects: Features of 2019 anomalies and trends of 20-year changes // *Doklady Earth Sciences*. Pleiades Publishing. 2020. Vol. 492, N 1. P. 370–375.
- Bowman D. M. J. S., Balch J. K., Artaxo P., Bond W. J., Carlson J. M., Cochrane M. A., D'Antonio C. M., DeFries R. S., Doyle J. C., Harrison S. P., Johnston F. H., Keeley J. E., Krawchuk M. A., Kull C. A., Marston J. B., Moritz M. A., Prentice I. C., Roos C. I., Scott A. C., Swetnam T. W., van der Werf G. R., Pyne S. J. Fire in the Earth system // *Science*. 2009. Vol. 324, N 5926. P. 481–484.
- Burdin L. A., Bolobanshchikova G. N., Rogozin D. Y. Macro-charcoal particles in lake sediments of North-Minusinsk Basin (South Siberia, Russia) as indicator of natural and human-induced paleo-fires // *Limnol. and Freshwater Biol.* 2022. P. 1403–1404.
- Clark J. S., Lynch J., Stocks B. J., Goldammer J. G. Relationships between charcoal particles in air and sediments in west-central Siberia // *The Holocene*. 1998. Vol. 8, N 1. P. 19–29.
- Clark R. L. Fire history from fossil charcoal in lake and swamp sediments. The Australian National University (Australia), 1983. 197 p.
- Conedera M., Tinner W., Neff C., Meurer M., Dickens A. F., Krebs P. Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation // *Quater. Sci. Rev.* 2009. Vol. 28, N 5–6. P. 555–576.
- de Moraes C. A., de Oliveira M. A. T., Behling H. Late Holocene climate dynamics and human impact inferred from vegetation and fire history of the Caatinga, in Northeast Brazil // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2020. Vol. 282. P. 113–137.
- Doyen É., Vannièrre B., Rius D., Bégeot C., Millet L. Climate and biomass control on fire activity during the late-glacial/early-Holocene transition in temperate ecosystems of the upper Rhone valley (France) // *Quaternary Res.* 2015. Vol. 83, N 1. P. 94–104.
- Dupont L. M., Schefuß E. The roles of fire in Holocene ecosystem changes of West Africa // *Earth and Planetary Sci. Lett.* 2018. Vol. 481. P. 255–263.
- Enache M. D., Cumming B. F. Tracking recorded fires using charcoal morphology from the sedimentary sequence of Prosser Lake, British Columbia (Canada) // *Quaternary Research*. 2006. Vol. 65, N 2. P. 282–292.
- Erdtman O. G. E. An introduction to pollen analysis. Waltham Mass, USA, 1943. 239 p.
- Feurdean A., Diaconu A. C., Pfeiffer M., Gařka M., Hutchinson S. M., Butiseaca G., Gorina N., Tonkov S., Niamir A., Tantau I., Kirpotin S. Holocene wildfire regimes in forested peatlands in western Siberia: interaction between peatland moisture conditions and the composition of plant functional types // *Climate of the Past Discussions*. 2021. Vol. 6. P. 1–27.
- Feurdean A., Florescu G., Tanřau I., Vannièrre B., Diaconu A.-C., Pfeiffer M., Warren D., Hutchinson S. M., Gorina N., Gařka M., Kirpotin S. Recent fire regime in the southern boreal forests of western Siberia is unprecedented in the last five millennia // *Quaternary Science Reviews*. 2020. Vol. 244. P. 106495.
- Feurdean A., Gařka M., Florescu G., Diaconu A. C., Tanřau I., Kirpotin S., Hutchinson S. M. 2000 years of variability in hydroclimate and carbon accumulation in

- western Siberia and the relationship with large-scale atmospheric circulation: A multi-proxy peat record // *Quaternary Sci. Rev.* 2019. Vol. 226. 105948.2019.105948.
- Feurdean A., Veski S., Florescu G., Vanni re B., Pfeiffer M., O'Hara R. B., Stivrins N., Amon L., Heinsalu A., Vassiljev J., Hickler T. Broadleaf deciduous forest counterbalanced the direct effect of climate on Holocene fire regime in hemiboreal/boreal region (NE Europe) // *Quaternary Science Reviews.* 2017. Vol. 169. P. 378–390.
- Gill A. M. Management of fire-prone vegetation for plant species conservation in Australia // *J. Austral. and New Zealand Associat. Advan. Sci.* 1977. Search 8 (1–2). P. 20–26.
- Gl ckler R., Herzschuh U., Kruse S., Andreev A., Vyse S. A., Winkler B., Biskaborn B. K., Pestryakova L., Dietze E. Wildfire history of the boreal forest of southwestern Yakutia (Siberia) over the last two millennia documented by a lake-sediment charcoal record // *Biogeosciences.* 2021. Vol. 18, N 13. P. 4185–4209.
- Gouveia S. E. M., Pessenda L. C. R., Aravena R., Boulet R., Scheel-Ybert R., Bendassoli J. A., Ribeiro A. S., Freitas H. A. Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil // *Global and Planetary Change.* 2002. Vol. 33, N 1–2. P. 95–106.
- Graves B. P., Ralph T. J., Hesse P. P., Westaway K. E., Kobayashi T., Gadd P. S., Mazumder D. Macro-charcoal accumulation in floodplain wetlands: Problems and prospects for reconstruction of fire regimes and environmental conditions // *PloS One.* 2019. Vol. 14, N 10. P. 0224011.
- Grimm E. C. TGView Version 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum research and Collections Center, 2004.
- Hallett D. J., Anderson R. S. Paleofire reconstruction for high-elevation forests in the Sierra Nevada, California, with implications for wildfire synchrony and climate variability in the late Holocene // *Quaternary Research.* 2010. Vol. 73, N 2. P. 180–190.
- 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.
- Harrison S. P., Prentice I. C., Bloomfield K. J., Dong N., Forkel M., Forrest M., Ningthoujam R. K., Pellegrini A., Shen Y., Bandana M., Cardoso A. W., Huss J. C., Josh J., Oliveras I., Pausas J., Simpson K. J. Understanding and modelling wildfire regimes: an ecological perspective // *Environ. Res. Lett.* 2021. Vol. 16, N 12. 125008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac39be>
- Harrison S. P., Villegas-Diaz R., Cruz-Silva E., Gallagher D., Kesner D., Lincoln P., Shen Y., Sweeney L., Colombaroli D., Ali A., Barhoumi C., Bergeron Y., Blyakharchuk T., Bobek P., Bradshaw R., Clear J. L., Czerwinski S., Daniau A.-L., Dodson J., Edwards K. J., Edwards M. E., Feurdean A., Foster D., Gajewski K., Gaika M., Garneau M., Giesecke T., Romera G. G., Girardin M. P., Hoefer D., Huang K., Inoue J., Jarmichov E., Jasiunas N., Jiang W., Jimenez-Moreno G., Karpinska-Koalczek M., Koalczek P., Kuosmanen N., Lamentowicz M., Lavoie M., Li F., Li J., Lisitsyna O., Lopez-Saez J. A., Luelmo-Lautenschlaeger R., Magyari G., Magyari E. K., Maksims A., Marcisz K., Marinova E., Marlon J., Mensing S., Miroslaw-Grabowska J., Oswald W., Perez-Dıaz S., Perez-Obiol R., Piilo S., Poska A., Qin X., Remy C. C., Richard P. J. H., Salonen S., Sasaki N., Schneider H., Shotyk W., Stancikaite M., Steinberga D., Stivrins N., Takahara H., Tan Z., Trausene L., Umbanhowar C. E., Valiranta M., Vassiljev J., Xiao X., Xu Q., Xu X., Zawisza E., Zhao Y., Zhou Z., Paillard J. The Reading Palaeofire Database: an expanded global resource to document changes in fire regimes from sedimentary charcoal records // *Earth System Sci. Data.* 2022. Vol. 14, N 3. P. 1109–1124.
- Hawthorne D., Mustaphi C. J. C., Aleman J. C., Blarquez O., Colombaroli D., Daniau A. L., Marlon J. R., Power M., Vanni re B., Han Y., Hantson S., Kehrwald N., Magi B., Yue X., Carcaillet C., Marchant R., Ogunkoya A., Githumbi E. N., Muriuki R. M. Global Modern Charcoal Dataset (GMCD): A tool for exploring proxy-fire linkages and spatial patterns of biomass burning // *Quat. Inter.* 2018. Vol. 488. P. 3–17.
- Hayashi N., Kawano T., Inoue J. Long-term response of respective grass types to variations in fire frequency in central Japan, inferred from phytolith and macrocharcoal records in cumulative soils deposited during the Holocene // *Quat. Inter.* 2019. Vol. 527. P. 94–102.
- Heinselman M. L., Wright H. E. The ecological role of fire in natural conifer forests of western and northern North America // *Quat. Res.* 1973. Vol. 3, N 3. P. 317–318.
- Higuera P. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Bozeman: MT, Montana State University, 2009. 27 p.
- Hoecker T. J., Higuera P. E., Kelly R., Hu F. S. Arctic and boreal paleofire records reveal drivers of fire activity and departures from Holocene variability // *Ecology.* 2020. Vol. 101, N 9. P. e03096.
- Horn S. P., Horn R. D., Byrne R. An automated charcoal scanner for paleoecological studies // *Palynology.* 1992. Vol. 16, N. 1. P. 7–12.
- Hubau W., van den Bulcke J., Kitin P., Mees F., Baert G., Verschuren D., Nsenga L., van Acker J., Beeckman H. Ancient charcoal as a natural archive for paleofire regime and vegetation change in the Mayumbe, Democratic Republic of the Congo // *Quat. Res.* 2013. Vol. 80, N 2. P. 326–340.
- Iversen J. H. S. Land Occupation in Denmark's Stone Age, Danmarks Geologiske Undersgelse // Series II. 1941. N 66. P. 1–68.
- Katamura F., Fukuda M., Bosikov N. P., Desyatkin R. V. Forest fires and vegetation during the Holocene in central Yakutia, eastern Siberia // *J. Forest Res.* 2009. Vol. 14, N 1. P. 30–36.
- Kharuk V. I., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Dvinskaya M. L., Coogan S. C., Flannigan M. D. Wildfires in the Siberian taiga // *Ambio.* 2021. Vol. 50, N 11. P. 1953–1974.
- Lamentowicz M., Slowiński M., Marcisz K., Zielińska M., Kaliszan K., Lapshina E., Gilbert D., Alexandre Buttlar, Fiakiewicz-Kozie B., Jassey V. E. J., Laggoun-Defarge F., Koalczek P. Hydrological dynamics and fire history of the last 1300 years in western Siberia reconstructed from a high-resolution, ombrotrophic peat archive // *Quat. Res.* 2015. Vol. 84, N 3. P. 312–325.
- Marlon J. R. What the past can say about the present and future of fire // *Quat. Res.* 2020. Vol. 96. P. 66–87.
- Mazei Y. A., Tsyganov A. N., Bobrovsky M. V., Mazei N. G., Kupriyanov D. A., Gaika M., Rostanets D. V., Khazanova K. P., Stoiko T. G., Pastukhova Y. A., Fatynina Y. A., Komarov A. A., Babeshko K. V., Makarova A. D., Saldaev D. A., Zazovskaya E. P., Maria Dobrovolskaya V.,

- Tiunov A. V. Peatland Development, Vegetation History, Climate Change and Human Activity in the Valdai Uplands (Central European Russia) during the Holocene: A Multi-Proxy Palaeoecological Study // *Diversity*. 2020. Vol. 12, N 12. P. 462.
- Mergelov N., Petrov D., Zazovskaya E., Dolgikh A., Golyeva A., Matskovsky V., Bichurin R., Turchinskaya S., Belyaev V., Goryachkin S. Soils in karst sinkholes record the holocene history of local forest fires at the North of European Russia // *Forests*. 2020. Vol. 11, N 12. P. 1268.
- Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // *Mires Peat*. 2011. Vol. 7. P. 1–18.
- Mustaphi C. J. C., Pisaric M. F. J. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments // *Progress in Physical Geography*. 2014. Vol. 38, N 6. P. 734–754.
- New S. L., Belcher C., Hudspith V. A., Gallego-Sala A. V. Holocene fire history: can evidence of peat burning be found in the palaeo-archive? // *Mires and Peat*. 2016. Vol. 18, N 26. P. 1–11.
- Novenko E. Y., Kupriyanov D. A., Mazei N. G., Prokushkin A. S., Phelps L. N., Buri A., Davis B. A. Evidence that modern fires may be unprecedented during the last 3400 years in permafrost zone of Central Siberia, Russia // *Environ. Res. Lett.* 2022. Vol. 17, N 2. P. 025004.
- Novenko E. Y., Mazei N. G., Kupriyanov D. A., Kusilman M. V., Olchev A. V. Peatland initiation in Central European Russia during the Holocene: Effect of climate conditions and fires // *The Holocene*. 2021. Vol. 31, N 4. P. 545–555.
- Novenko E. Y., Tsyganov A. N., Volkova E. M., Kupriyanov D. A., Mironenko I. V., Babeshko K. V., Utkina A. S., Popov V., Mazei Y. A. Mid-and Late Holocene vegetation dynamics and fire history in the boreal forest of European Russia: A case study from Meshchera Lowlands // *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 2016. Vol. 459. P. 570–584.
- Novenko E. Y., Tsyganov A. N., Volkova E. M., Kupriyanov D. A., Mironenko I. V., Babeshko K. V., Utkina A. S., Popov V., Mazei Y. A. Palaeoecological evidence for climatic and human impacts on vegetation in the temperate deciduous forest zone of European Russia during the last 4200 years: A case study from the Kaluzhskiye Zaseki Nature Reserve // *Quat. Inter.* 2019. Vol. 516. P. 58–69.
- Novenko E. Y., Tsyganov A. N., Payne R. J., Mazei N. G., Volkova E. M., Chernyshov V. A., Kupriyanov D. A., Mazei Y. A. Vegetation dynamics and fire history at the southern boundary of the forest vegetation zone in European Russia during the middle and late Holocene // *The Holocene*. 2018. Vol. 28, N 2. P. 308–322.
- Patterson W. A., Backman A. E. Fire and disease history of forests // *Vegetation History*. Dordrecht: Springer, 1988. P. 603–632.
- Patterson W. A., Edwards K. J., Maguire D. J. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire // *Quat. Sci. Rev.* 1987. Vol. 6, N 1. P. 3–23.
- Pendea I. F., Ponomareva V., Bourgeois J., Zubrow E. B., Portnyagin M., Ponkratova I., Harmsen H., Korosec G. Late Glacial to Holocene paleoenvironmental change on the northwestern Pacific seaboard, Kamchatka Peninsula (Russia) // *Quat. Sci. Rev.* 2017. Vol. 157. P. 14–28.
- Pitkänen A., Tolonen K., Jungner H. A basin-based approach to the long-term history of forest fires as determined from peat strata // *The Holocene*. 2001. Vol. 11, N 5. P. 599–605.
- Power M. J., Marlon J., Ortiz N., Bartlein P. J., Harrison S. P., Mayle F. E., Ballouche A., Bradshaw R. H. W., Carcaillet C., Cordova C., Mooney S., Moreno P. I., Prentice I. C., Thonicke K., Tinner W., Whitlock C., Zhang Y., Zhao Y., Ali A. A., Anderson R. S., Beer R., Behling H., Briles C., Brown K. J., Brunelle A., Bush M., Camill P., Chu G. Q., Clark J., Colombaroli D., Connor S., Daniau A.-L., Daniels M., Dodson J., Doughty E., Edwards M. E., Finsinger W., Foster D., Frechette J., Gaillard M.-J., Gavin D. G., Gobet E., Haberle S., Hallett D. J., Higuera P., Hope G., Horn S., Inoue J., Kaltenrieder P., Kennedy L., Kong Z. C., Larsen C., Long C. J., Lynch J., Lynch E. A., McGlone M., Meeks S., Mensing S., Meyer G., Minckley T., Mohr J., Nelson D. M., New J., Newnham R., Noti R., Oswald W., Pierce J., Richard P. J. H., Rowe C., Sanchez Gon'i M. F., Shuman B. N., Takahara H., Toney J., Turney C., Urrego-Sanchez D. H., Umbanhowar C., Vandergoes M., Vanriene B., Vescovi E., Walsh M., Wang X., Williams N., Wilmshurst J., Zhang J. H. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data // *Climate Dynamics*. 2008. Vol. 30, N 7. P. 887–907.
- Proske U., Hanebuth T. J., Behling H., Nguyen V. L., Ta T. K. O., Diem B. P. The palaeoenvironmental development of the northeastern Vietnamese Mekong River Delta since the mid Holocene // *The Holocene*. 2010. Vol. 20, N 8. P. 1257–1268.
- Pupysheva M. A., Blyakharchuk T. A. Dynamics of paleofires in the forest-steppe zone of the Western Siberia // *Limnol. and Freshwater Biol.* 2022. P. 1535–1537.
- Robin V., Knapp H., Bork H. R., Nelle O. Complementary use of pedoanthracology and peat macro-charcoal analysis for fire history assessment: illustration from Central Germany // *Quat. Internat.* 2013. Vol. 289. P. 78–87.
- Rudaya N., Krivonogov S., Słowiński M., Cao X., Zhilich S. Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity // *Quat. Sci. Rev.* 2020. Vol. 249. P. 106616.
- Sluiter I. R. K., Blackburn D. T., Holdgate G. R. Fire and Late Oligocene to Mid-Miocene peat mega-swamps of south-eastern Australia: a floristic and palaeoclimatic interpretation // *Australian Journal of Botany*. 2016. Vol. 64, N 8. P. 609–625.
- Snitker G. The Charcoal Quantification Tool (CharTool): A Suite of Open-source Tools for Quantifying Charcoal Fragments and Sediment Properties in Archaeological and Paleocological Analysis // *Ethnobiol. Lett.* 2020. Vol. 11, N 1. P. 103–115.
- Sweeney L., Harrison S. P., Vander Linden M. Assessing anthropogenic influence on fire history during the Holocene in the Iberian Peninsula // *Quat. Sci. Rev.* 2022. Vol. 287. P. 107562.
- Turetsky M. R., Amiro B. D., Bosch E., Bhatti J. S. Historical burn area in western Canadian peatlands and its relationship to fire weather indices // *Global Biogeochemical Cycles*. 2004. Vol. 18, N 4. P. (GB4014) 1–9.
- Turunen J., Tahvanainen T., Tolonen K., Pitkänen A. Carbon accumulation in West Siberian mires, Russia // *Global Biogeochem. Cycles*. 2001. Vol. 15, N 2. P. 285–296.
- Uhl D., Spiekermann R., Wuttke M., Poschmann M. J., Jasper A. Wildfires during the Paleogene (late Eocene–

- late Oligocene) of the Neuwied Basin (W-Germany) // *Rev. of Palaeobotany and Palynology*. 2022. Vol. 297. P. 104565.
- Walsh M. K., Lukens M. L., McCutcheon P. T., Burtchard G. C. Fire-climate-human interactions during the postglacial period at Sunrise Ridge, Mount Rainier National Park, Washington (USA) // *Quaternary Sci. Rev.* 2017. Vol. 177. P. 246–264.
- Whitlock C., Higuera P. E., McWethy D. B., Briles C. E. Palaeoecological perspectives on fire ecology: revisiting the fire-regime concept // *The Open Ecol. J.* 2010. Vol. 3, N 1. P. 6–23.
- Whitlock C., Larsen C. Charcoal as a fire proxy // *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments // Developments in Paleoenvironmental Research*. Dordrecht, the Netherlands: Springer, 2002. Vol. 3. P. 75–97.

Fires and their significance in the Earth’s Post-Glacial period: a review of methods, achievements, progress

M. A. PUPYSHEVA¹, T. A. BLYAKHARCHUK^{1, 2}

¹*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS
634055, Tomsk, Academichesky av., 10/3*

²*National Research Tomsk State University
634050, Tomsk, Lenin av., 36
E-mail: 455207@mail.ru; blyakharchuk@mail.ru*

The article presents a generalization of the results of studying the long-term history of paleofires in the world and on the territory of Russia specifically. Perspective and reliable methods for reconstructing the local and regional dynamics of paleofires – micro- and macro-charcoal analyzes, are considered. In the article, we analyze approaches to the study of paleofires, methods of processing and identifying micro- and macroscopic charcoal particles, including the state-of-the-art software tools for their identification (“The Charcoal Quantification Tool”, “WinSEEDLETM”) and analysis (“CharAnalysis”) based on a review of world and Russian scientific achievements. In addition, the possibilities of modern international paleofire databases (Global Charcoal Database, Reading Palaeofire Database), which contain up-to-date information on local and regional paleofire data in the Holocene, are considered here. The results of the study of paleofires globally and on the territory of Russia in particular are analyzed and possible research directions along with fire reconstruction issues are highlighted. The review of Russian publications has shown that the central and south part of the East European Plain, as well as the southeast of Western Siberia, are the most studied regions in terms of reconstructing the dynamics of paleofires. Few similar studies were carried out in the Urals Mts., Eastern Siberia and the Far East, but most of the regions of Russia remain unstudied in this regard. In recent years, Russian researchers are mainly focused on the study of local fire dynamics based on the use of macro-charcoal analysis. The analysis of international paleofire databases (Global Charcoal Database, Reading Palaeofire Database) shows that these data need to be radically revised in relation to key sites in Russia. The authors present a generalized map-scheme of Russia indicating the key areas where paleofire dynamics were reconstructed using micro- or macro-charcoal analyzes.

Key words: paleofires, fire dynamics, micro- and macro-charcoal analyzes, lake-swamp sediments, Holocene.