

РЕКОНСТРУКЦИИ ПАЛЕОПОЖАРОВ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДОНА В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

© 2024 Д. А. Куприянов¹, Е. М. Волкова^{2, *}, В. В. Миронов², О. А. Леонова²,
А. А. Чепурная³, Е. Ю. Новенко^{4, 5; **}

¹Институт археологии РАН, лаборатория контекстуальной антропологии, Москва, Россия

²Тульский государственный университет, кафедра биологии, Тула, Россия

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра физической географии и ландшафтоведения, Москва, Россия

⁴Институт географии РАН, отдел палеогеографии четвертичного периода, Москва, Россия

⁵НИУ ВШЭ, факультет географии и геоинформационных технологий, Москва, Россия

*e-mail: convallaria@mail.ru

**e-mail: lenanov@mail.ru

Поступила в редакцию 10.12.2022 г.

После доработки 25.09.2023 г.

Принята к публикации 26.12.2023 г.

Реконструкция частоты пожаров на территории музея-заповедника “Куликово поле” (бассейн Верхнего Дона, Среднерусская возвышенность) за последние 4000 лет выполнена на основе палеоантракологического анализа (изучения содержания макроскопических частиц угля с линейным размером более 100 мкм) в торфяных отложениях Подкосьмовского болота, которому в 2013 г. присвоен статус особо охраняемой природной территории (ООПТ). В статье проведено сопоставление полученных результатов с количественными реконструкциями лесистости и изменениями растительности региона, выполненными ранее для этой территории с использованием палинологических данных и археологических материалов. Результаты исследования показали низкую пожарную активность на территории Куликова поля в интервале между 4000 и 1500 кал. (калиброванных) л. н. Согласно результатам палинологического анализа торфяной залежи болота, в этот период изучаемая территория принадлежала к зоне лесостепи. Мозаичный растительный покров включал в себя участки широколиственно-сосновых лесов, пойменные ольшатники и луговые степи на сухих склонах. Лесистость территории составляла 30–40% и к временному рубежу около 2700 кал. л. н. в условиях увлажнения климата и длительного межпожарного интервала достигала 45%. Начиная с 1500 кал. л. н., поступление макроскопических частиц угля в торфяную залежь Подкосьмовского болота начало постепенно возрастать. Наибольшая частота пожаров и высокие значения скорости аккумуляции макрочастиц угля в торфе выявлены для периода 900–300 кал. л. н. Взаимосвязь между периодами увеличения поступления частиц угля в торфяную залежь и климатическими изменениями в течение последнего тысячелетия не установлена, однако выявлено четкое совпадение между интервалом повышенного накопления угля в торфе и этапами активизации освоения региона, подтвержденными многочисленными археологическими находками на древнерусских памятниках. Уменьшение лесистости в районе исследований до 15–20% в тот же период и обилие пыльцы антропогенных индикаторов в спорово-пыльцевых спектрах свидетельствуют о возрастании воздействия хозяйственной деятельности человека на растительный покров.

Ключевые слова: торфяная залежь, межпожарный интервал, макроуголь, палеоантракологический анализ, лесистость, ботанический анализ торфа, спорово-пыльцевой анализ

DOI: 10.31857/S2587556624010063, EDN: GLJHBN

ВВЕДЕНИЕ

Изучение растительности современной лесостепи и реконструкция ее динамики в голоцене приобретают в последнее время большое значение в связи с климатическими изменениями текущего столетия и усиливающейся антропоген-

ной нагрузкой на экосистемы региона. К настоящему времени накоплен обширный массив данных палеоботанических исследований в экотоне леса и степи Восточно-Европейской равнины, в том числе получены данные комплексного исследования озерных и болотных отложений (Климанов, Серебрянная, 1986; Новенко и др., 2013;

Серебрянная, 1976; Серебрянная, Ильвес, 1974; Спиридонова, 1991; Хотинский и др., 1979; 2017; Borisova et al., 2006; Novenko et al., 2012; Panin et al., 2017; Shumilovskikh et al., 2018) и погребенных почв (Александровский и др., 2011, 2022; Алифанов и др., 2015; Герасимова, Сычева, 2010; Горская и др., 2016; Сычева, 2009; Kurbanova et al., 2023), обеспеченных сериями радиоуглеродных датировок. Однако роль пожаров в трансформации растительного покрова лесостепи в голоцене рассмотрена лишь в небольшом количестве работ (Lukanina et al., 2022; Novenko et al., 2016), хотя реконструкции палеопожаров могли бы способствовать решению дискуссионных вопросов о формировании южной границы лесной зоны в голоцене.

Исследования периодичности пожаров в голоцене в подзоне северной лесостепи, результаты которых представлены в статье, выполнены в бассейне Верхнего Дона на территории государственного военно-исторического и природного музея-заповедника “Куликово Поле”. Задачи по восстановлению природного ландшафта, соответствующего времени Куликовской битвы, и изучению героических событий 1380 г. послужили импульсом для целого ряда палеогеографических и геоархеологических работ, а также для изучения биологического разнообразия региона (Бурова, Гласко, 2007; Бурова, Наумов, 2022; Волкова и др., 2020; Новенко, 2017; Новенко и др., 2013; Носова, 2019; Розова, Волкова, 2020; Фоломеев и др., 1984, 1990; Хотинский, 1988). В настоящее время военно-исторический и природный заповедник “Куликово Поле” — территория площадью около 1600 км² — важнейший модельный регион для изучения современного ландшафта и его компонентов с целью сохранения и восстановления природной среды.

Цель представленной работы — реконструкция частоты пожаров на территории музея-заповедника “Куликово поле” в позднем голоцене, основанная на анализе макроскопических частиц угля в торфяных отложениях Подкосьмовского болота, сопоставление полученных данных с результатами изучения истории растительности региона и археологическими находками.

ИЗУЧАЕМАЯ ТЕРРИТОРИЯ

Район исследований расположен в северо-восточной части Среднерусской возвышенности и относится к Среднерусской провинции лесостепной области Восточно-Европейской равнины (Гвоздецкий, 1968). Согласно схеме физико-географического районирования (Исаченко, 1985), изучаемая территория относится к ландшафтам возвышенных эрозионных равнин с покровными суглинками. В соответствии с геоботаническим районированием европейской части России (Растительность ..., 1980), Куликово

поле находится в Среднерусской подпровинции Восточноевропейской лесостепной провинции. Климат исследуемой территории умеренный, умеренно-континентальный. Согласно наблюдениям на метеостанции в г. Богородицк, расположенной в 40 км к северу от района исследований, среднегодовая температура +3.8°C, средняя температура января и июля –10.6°C и +18.4°C соответственно. Среднегодовое количество осадков 530 мм (Разуваев и др., 2020).

Для района исследований характерно сочетание разнообразных типов почв: черноземных, серых лесных, а также луговых и болотных. Растительный покров Куликова поля представляет собой мозаику лесных, степных, луговых, болотных и антропогенно-нарушенных (сельскохозяйственные поля, разновозрастные залежи, экспериментальные посевы по восстановлению степной растительности) экосистем (Волкова, 2011; Волкова и др., 2022; Зацаринная и др., 2022; Семенищенков, Волкова, 2021; Семенищенков и др., 2022; Volkova et al., 2021).

Реконструкция палеопожаров на территории музея-заповедника “Куликово поле” выполнена по данным изучения макроскопических частиц угля из торфяных отложений Подкосьмовского болота (53°40'117'' с.ш., 38°35'258'' в.д.), расположенного в пойме по левому борту долины р. Непрядвы, в 2 км выше по течению от с. Монастыршино (рис. 1) и занимающего вместе с заболоченными землями площадь около 3 га (Зацаринная и др., 2022). В питании болота принимают участие грунтовые и аллювиальные воды, что обеспечивает высокую минерализацию болотных вод (425–690 мг/л) и формирование эвтрофной растительности, которая представлена сообществами камышовой (асс. *Scirpus sylvaticus*), таволговой (асс. *Filipendula ulmaria*), заостренноосоковой (асс. *Carex acutiformis*) и хвощовой (асс. *Equisetum fluviatile*) ассоциаций. Указанные сообщества формируются при разном увлажнении: уровень залегания болотных вод варьирует от 3 до 40 см ниже поверхности болота в течение вегетационного сезона. Торфяная залежь болота имеет максимальную мощность 120 см. Отсутствие следов антропогенного воздействия на структуру торфяных отложений и современный растительный покров послужило основанием рассматривать Подкосьмовское болото как модельную болотную экосистему и придать ему статус особо охраняемой природной территории (ООПТ) (Постановление правительства Тульской области от 29.04.2015 № 210).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Палеоэкологические исследования Подкосьмовского болота проходили в два этапа. На первом этапе в 2009 г. в наиболее глубокой

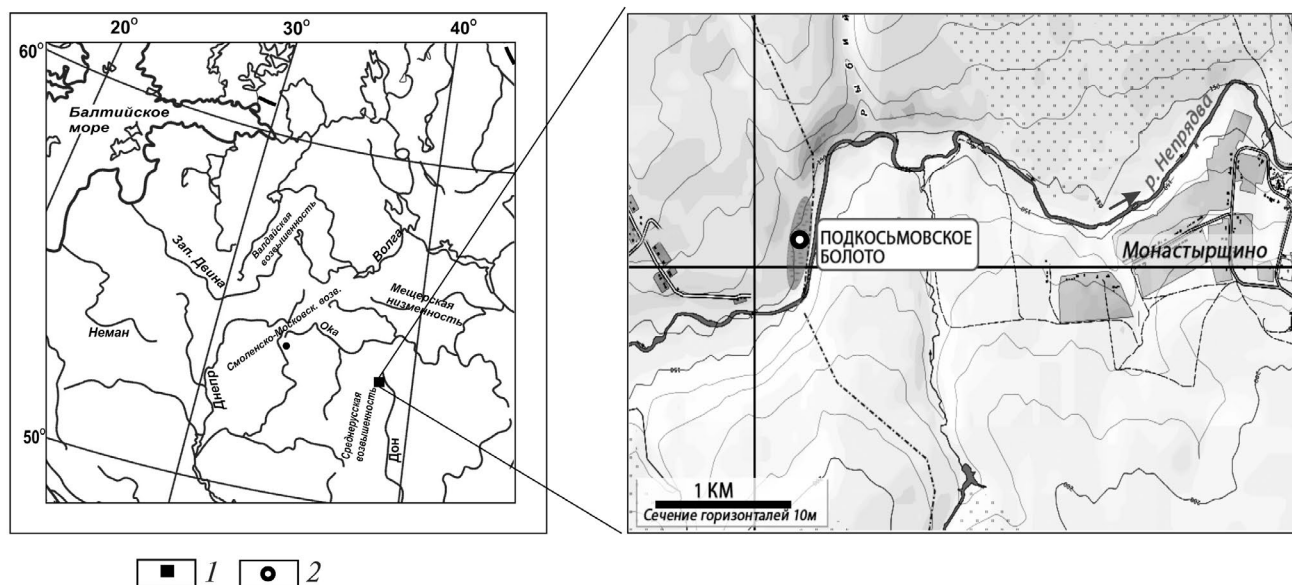


Рис. 1. Географическое положение изучаемой территории: 1 – положение района исследования, 2 – положение точки бурения (<https://bestmaps.ru/map/osm/opentopomap>).

части болота была пробурена скважина, глубиной 120 см, и выполнены ботанический анализ торфа, спорово-пыльцевой анализ и радиоуглеродное датирование образцов торфа, результаты которых подробно опубликованы (Новенко, 2017;

Novenko and Volkova, 2015). При бурении болота установлено, что ниже горизонтов торфа залегает глина, голубовато-серая, тонкослоистая. В составе залежи представлены только низинные виды торфа (рис. 2), в разных частях болота состав зале-

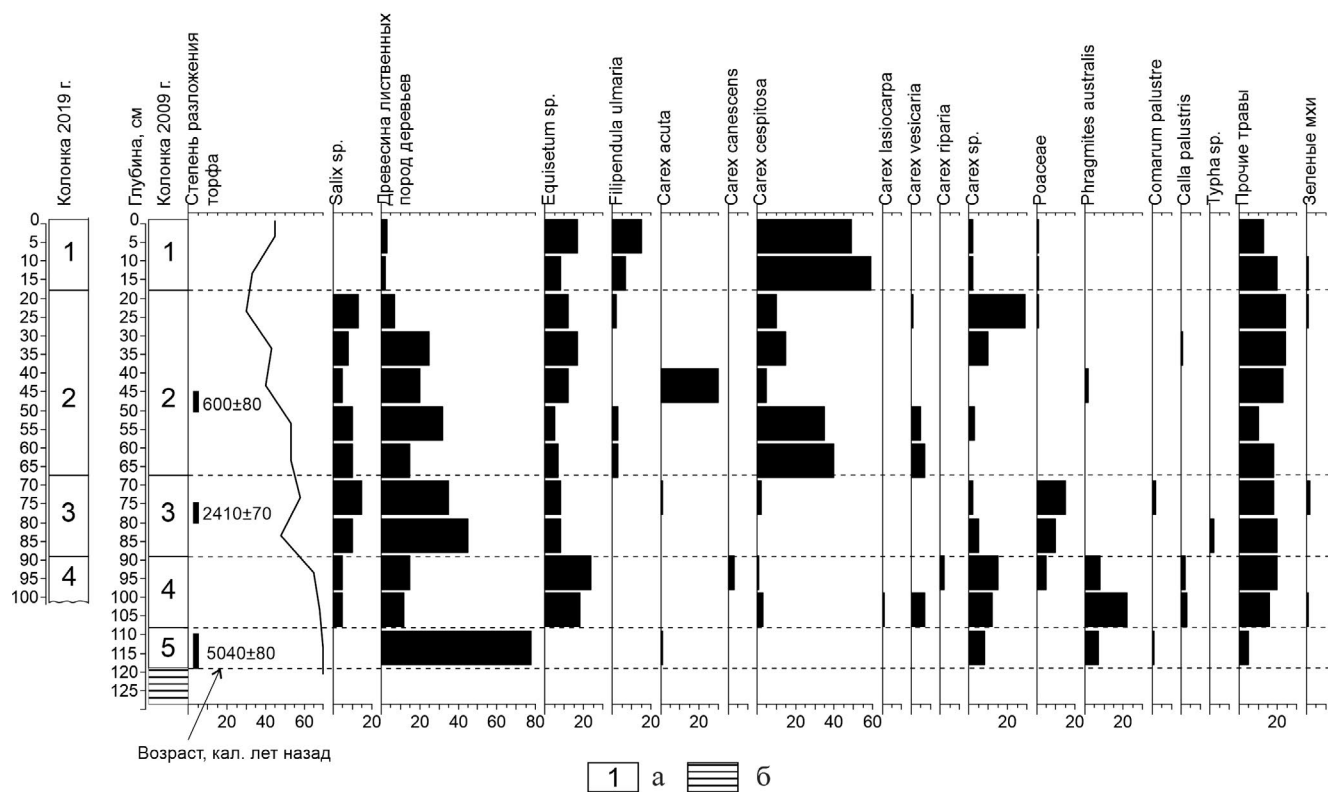


Рис. 2. Ботанический состав торфа Подкосьмовского болота и соотношение торфяных колонок, отобранных в 2009 и 2019 гг.: а – торф (виды торфа: 1 – осоковый, 2 – древесно-осоковый, 3 – древесно-травяной, 4 – травяной, 5 – древесный), б – глина.

Таблица 1. Радиоуглеродные датировки торфяной залежи Подкосьмовского болота

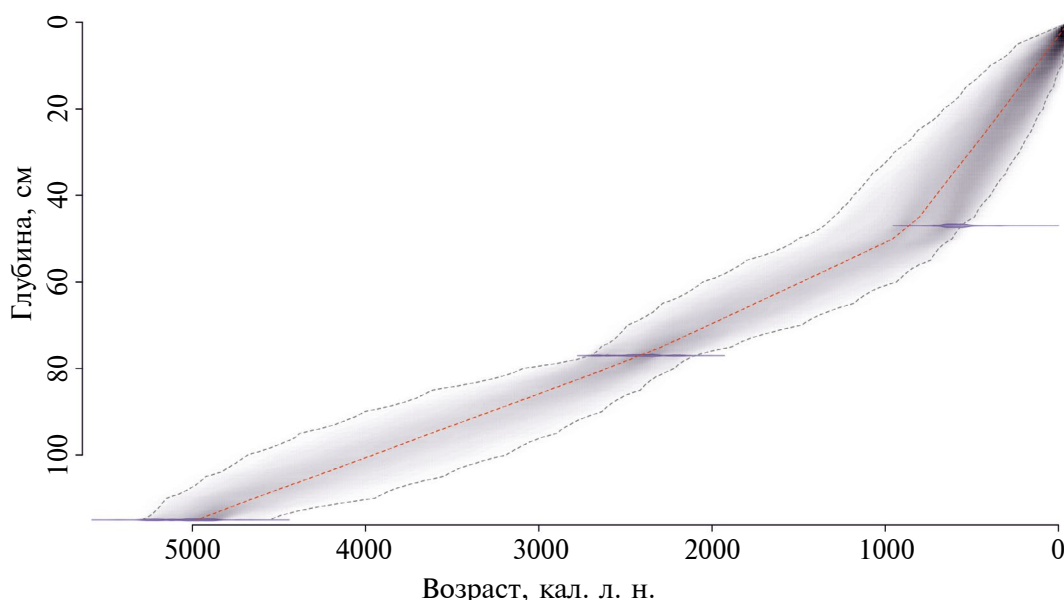
Лабораторный номер, ИГ РАН	Глубина, см	Материал для датирования	Радиоуглеродный возраст, л. н.	Калиброванный возраст, л. н. (1 σ)
3851	45–50	торф	607 $\pm$ 85	600 $\pm$ 80
3852	75–80	торф	2345 $\pm$ 75	2410 $\pm$ 70
3855	110–120	торф	4405 $\pm$ 80	5040 $\pm$ 80

жи отличается незначительно. Торфяная залежь образована осоковым, травяным, древесным (ива пепельная), древесно-травяным и древесно-осоковым торфом (Волкова, 2011). Высокая степень разложения торфа (от 65% в придонных горизонтах залежи до 35–40% – в ее верхней части) указывает на изменчивый гидрологический режим болота, что обуславливало активное разложение растительных остатков в условиях оптимальной аэрации. Возраст базального горизонта торфа – 5040 $\pm$ 80 кал. л. н. (калиброванных лет назад). По полученным ранее радиоуглеродным датировкам (табл. 1) (Novenko and Volkova, 2015) в представленной работе рассчитана модель вертикального прироста торфа (рис. 3) с использованием программы Bacon (Blaauw and Christen, 2011) в программной среде R (R Core Team, 2021). Для калибровки радиоуглеродных датировок применена программа Calib 8.2, использующая калибровочную кривую IntCal20 (Reimer et al., 2020).

В 2019 г. торфяная залежь болота была изучена повторно и отобраны образцы для изучения концентрации макроскопических частиц угля в торфе и реконструкции палеопожаров. Торфяная колонка, отобранная в 2019 г., по техническим причинам оказалась короче, чем керн, отобранный в 2009 г. Обе скважины были заложены

в центральной части болота в осоковом сообществе, и ботанический состав торфа вскрытых торфяных залежей очень близок по составу и положению границ слоев (см. рис. 2). На этом основании мы сопоставили результаты радиоуглеродного датирования и спорово-пыльцевого анализа из скважины, полученной ранее, с результатами изучения макроскопических частиц угля, полученных в рамках представленной работы.

Реконструкция периодичности пожаров в голоцене в бассейне Верхнего Дона выполнена на основе анализа концентрации макроскопических частиц угля (с линейными размерами более 100 мкм) в торфяной колонке. Основным источником поступления микро- и макроскопических частиц угля на поверхность болотного массива считаются выпадения из атмосферы в результате конвективных процессов, возникающих благодаря тепловому воздействию пожаров, а также поступления в результате процессов плоскостного смыва в болотную котловину (Whitlock et al., 2010). Эксперименты и модельные расчеты показали, что макроскопические частицы угля выпадают из воздуха в радиусе от нескольких сотен метров до 20 км от источника возгорания (Higuera et al., 2009), однако основная масса частиц оседает в пределах 2–3 км от болота. Таким

**Рис. 3.** Модель вертикального роста торфа в Подкосьмовском болоте.

образом, угольные частицы с размерами более 100 мкм служат надежными индикаторами локальных пожаров.

Отбор образцов из торфяной залежи проведен торфяным буром Сукачёва с диаметром пробоотборника 5 см и длиной 50 см. Для анализа макроскопических частиц угля образцы влажного торфа объемом 1 см³ отобраны непрерывно с интервалом отбора 1 см. Всего проанализировано 100 образцов. Подготовка проб проведена по стандартной методике (Mooney and Tinner, 2011). Образцы торфа отбеливали в 10%-м водном растворе NaOCl объемом 100 мл в течение суток при комнатной температуре, затем каждый образец промывали дистиллированной водой че-

рез сито с диаметром ячеек 100 мкм и помещали в чашку Петри. Все содержащиеся в чашке Петри частицы угля подсчитывали при 28-кратном увеличении под стереоскопическим микроскопом модели МБС-10 171.

Статистическая обработка результатов подсчета концентрации угольных частиц в торфе осуществлялась в программном пакете *tapas* (Finsinger and Bonnici, 2022), который является улучшенным и адаптированным для программной среды R обновлением программы *CharAnalysis* (Higuera et al., 2009). Программа позволяет рассчитать скорость аккумуляции частиц угля, выделить ее фоновые и пиковые значения, а также локальные пожарные эпизоды (один или серию крупных пожа-

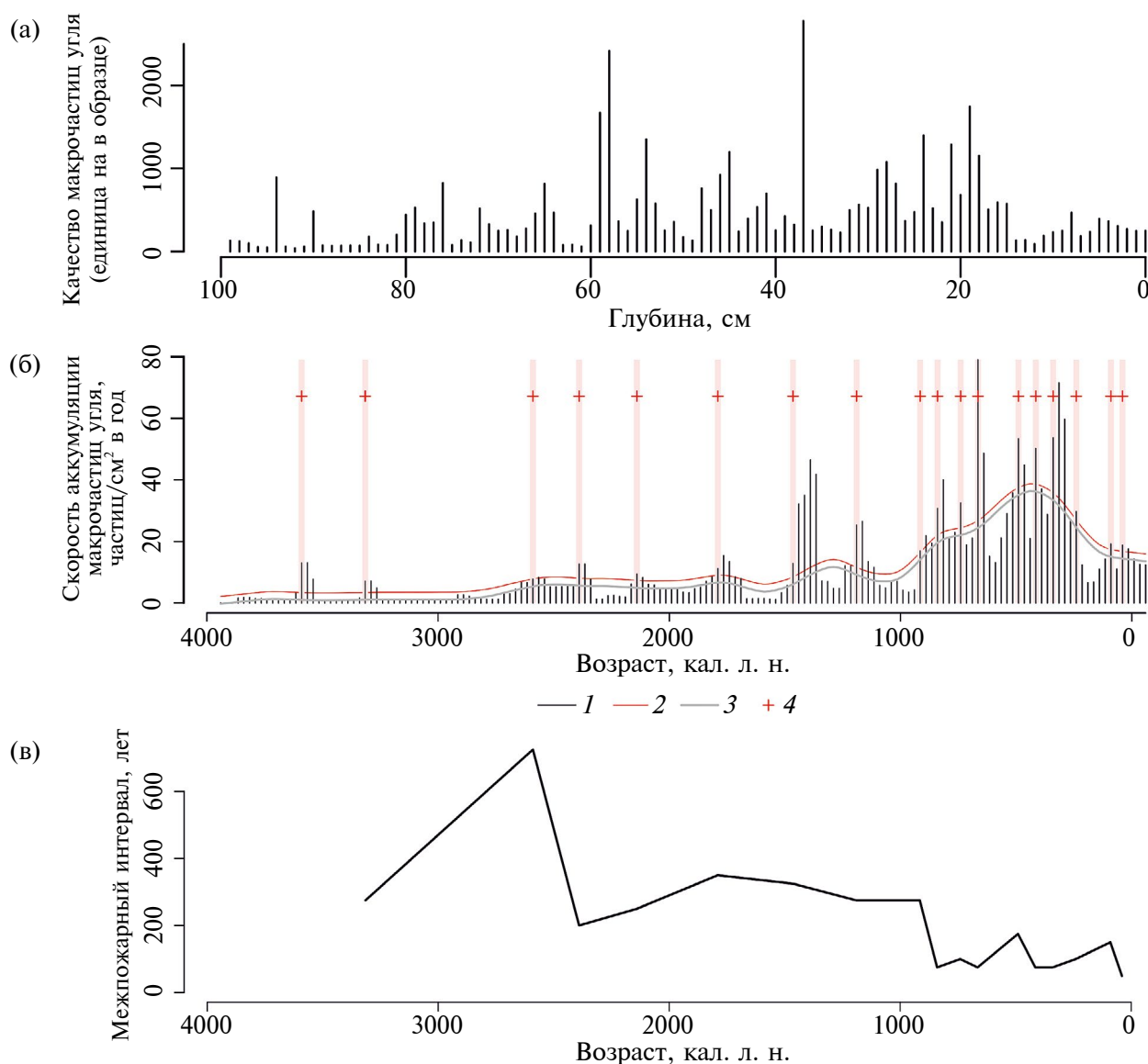


Рис. 4. Результаты изучения макроскопических частиц угля в торфе Полкосьмовского болота: (а) концентрация макрочастиц угля, (б) скорость аккумуляции макрочастиц угля (1 – интерполированные значения скоростей аккумуляции угля, 2 – пороговые значения, 3 – фоновые значения, 4 – локальные пожарные эпизоды), (в) межпожарный интервал.

ров в окрестностях болота) и межпожарные интервалы.

Трансформация полученных значений концентрации макроскопических частиц угля в скорость аккумуляции (частиц/см² в год) проведена с помощью рассчитанной модели скорости вертикального прироста торфа. Предварительно значения были интерполированы и приведены к единому временному разрешению каждого образца, который был равен медианному временному разрешению каждого сантиметра торфяной залежи (40 лет). Затем проведено определение фоновых значений скоростей аккумуляции частиц угля при помощи статистической функции локальной взвешенной регрессии с робастными весами (robust LOWESS) со сглаживающим интервалом в 300 лет. Под фоновыми значениями понимают низкочастотные колебания скорости аккумуляции угля, соответствующие региональному сигналу пожарной динамики и учитывающие возможные погрешности при отборе, пробоподготовке и переотложении угля внутри торфяной залежи.

Для выделения локальных пирогенных эпизодов рассчитано пороговое значение скорости аккумуляции угольных частиц. Непрерывные интерполированные значения скоростей аккумуляции угля, превышающие пороговые значения, расценивались как пожарные эпизоды. Для оценки статистической достоверности для каждого временного окна использовался индекс отношения сигнала к шуму (Signal-to-Noise Index, SNI). Значения SNI $> \sim 0.5$ считаются достаточными, а SNI > 3 — максимально достоверными для статистически обоснованного выделения локального пожара. Согласно нашим расчетам, диапазон значений SNI составил от 2.8 до 7.1, что удовлетворяет требованиям статистического анализа. Межпожарный интервал (МПИ) рассчитан как интервал времени между двумя локальными пирогенными эпизодами.

Для выявления роли пожаров в формировании растительного покрова территории были использованы результаты ботанического анализа торфа (Волкова, 2011) и спорово-пыльцевого анализа торфяной залежи болота Подкосьмово (Novenko and Volkova, 2015), а также реконструкции лесистости территории Куликова поля, выполненные по палинологическим данным из болота методом “лучших аналогов”. Методика и результаты этих реконструкций подробно опубликованы (Новенко, 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты анализа накопления угольных частиц в торфяной колонке, отобранной в 2019 г., позволяют охарактеризовать измене-

ния пожарной активности территории, начиная с 4000 кал. л. н. Подсчеты концентрации макроскопических частиц угля в торфяной залежи выявили ее высокую изменчивость в диапазоне от 49 до 2779 частиц/см³ (рис. 4а). Низкие значения концентрации частиц угля (50–120 частиц/см³) характерны для нижней части торфяной колонки (100–81 см). В интервале глубин 81–60 см концентрации частиц угля увеличиваются, но испытывают резкие колебания, не превышая 1000 частиц/см³. Существенный рост концентраций угольных частиц (от 200 до 1500 частиц/см³, с пиками до 2900 частиц/см³) выявлен в интервале 60–15 см. В верхней части торфяной залежи концентрация частиц угля понижается до 150–200 частиц/см³.

Расчеты скорости аккумуляции частиц угля и выделение пиков выявили низкую пожарную активность в период 4000–1500 кал. л. н. (см. рис. 4) Фоновые и интерполированные значения не превышают 10–15 частиц/см² в год, МПИ колеблется от 200 до 350 лет (см. рис. 4в). В период 1500–900 кал. л. н. скорости аккумуляции угля возросли до 20 частиц/см² в год, однако МПИ оставался длительным и составлял около 150 лет. Резкое увеличение скорости накопления макрочастиц угля в торфе выявлено в интервале 900–300 кал. л. н. Фоновые и интерполированные значения возросли до 30–40 частиц/см² в год, выделены резкие пики, превышающие 70–80 частиц/см² в год. МПИ сократился до 50–100 лет. В течение последних 300 лет накопление угля сократилось, выявлен только один пожарный эпизод.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты анализа концентраций макроскопических частиц угля в торфе и их сопоставление с палинологическими данными и реконструкциями лесистости территории Куликова поля в позднем голоцене (рис. 5) позволили нам восстановить историю изменений растительности региона и рассмотреть влияние пожаров на растительный покров.

Согласно данным палинологического анализа торфяной залежи Подкосьмовского болота (Novenko and Volkova, 2015), в период 4000–2300 кал. л. н. изучаемая территория принадлежала к зоне лесостепи. Мозаичный растительный покров включал в себя участки широколиственно-сосновых лесов, пойменные ольшатники и луговые степи на сухих склонах и хорошо дренируемых водоразделах. Лесистость территории составляла 30–40% (Новенко, 2017) и к временному рубежу 2700 кал. л. н. достигала 45% (см. рис. 5). Увеличение лесистости происходило на фоне похолодания климата, начавшегося в Европе около 2700–2500 кал. л. н. и прослеженного как по многочисленным реконструкциям

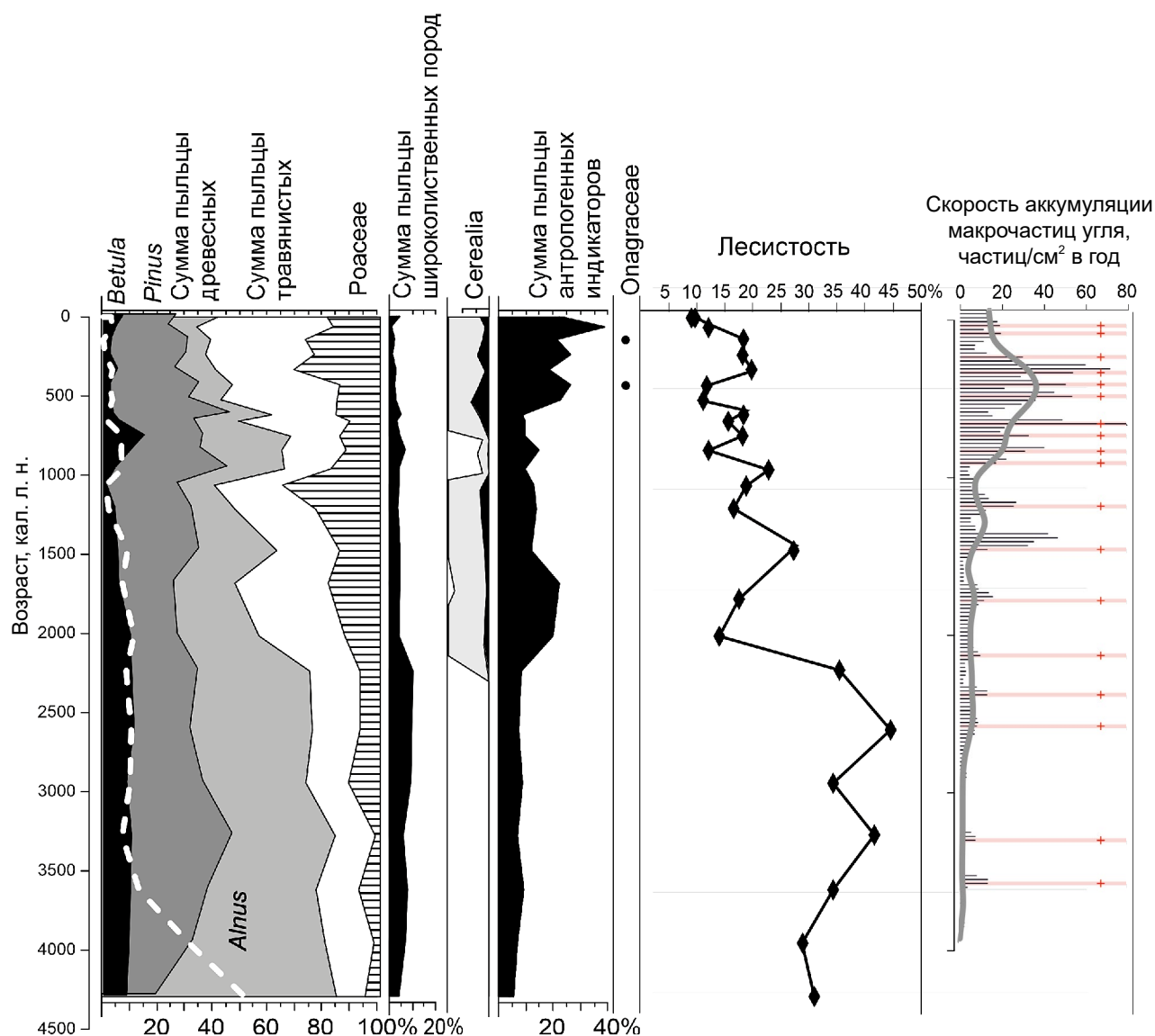


Рис. 5. Сопоставление результатов анализа макроскопических частиц угля в торфе Подкосьмовского болота с полученными ранее для этого болота результатами палинологического анализа (Novenko and Volkova, 2015) и реконструкцией лесистости (Новенко, 2017).

с использованием палинологических данных в различных регионах Европы (Davis et al., 2003; Mauri et al., 2015), так и по материалам исследований в центре Восточно-Европейской равнины и на Среднерусской возвышенности (Новенко, 2021). Пожары, очевидно, не оказывали значительного влияния на динамику растительности района Куликова поля в этот период, на что указывает длительный межпожарный интервал (от 600 до 200 лет) и относительно низкая интенсивность аккумуляции макроскопических частиц угля в торфе (см. рис. 4).

Существенные изменения растительного покрова в районе Куликова поля произошли около 2300 кал. л. н. Доля пыльцы деревьев и кустарников сократилась с 80 до 50–60%, в то же вре-

мя участие трав и пыльцы растений — антропогенных индикаторов увеличилось (Novenko and Volkova, 2015), постоянным компонентом спорово-пыльцевых спектров стала пыльца культурных злаков (см. рис. 5). Лесистость территории понизилась до 15% (Новенко, 2017). В разрезах поймы Непрядвы выявлены признаки антропогенной эрозии почв (Сычева, 2009). Однако, анализ концентрации макроскопических частиц угля в торфе не выявил возрастания пожарной активности в районе исследований. Подъем кривой скорости аккумуляции угля и сокращение МПИ происходит только около 1500 кал. л. н. Возможно, обезлесение территории было связано с антропогенным фактором, например, с рубкой деревьев и использованием древесины. Археоло-

гические свидетельства пребывания человека на территории Куликова поля в эпоху бронзы фрагментарны. Возможно, в этот период на изучаемой территории существовали скотоводческие хозяйства (Гоняный и др., 2007). Но большинство исследователей указывает, что периоды освоения территории в бронзовом веке были кратковременными и оказывали локальное воздействие на окружающую среду (Гоняный и др., 2007; Фоломеев и др., 1990; Хотинский, 1988; Хотинский и др., 1979). Археологические памятники раннего железного века в районе Куликова поля не обнаружены. Возможно, изменения растительности, выявленные по спорово-пыльцевым спектрам, и появление пыльцы культурных злаков отражают некоторый региональный фон, при этом на участке, непосредственно примыкающем к Подкосьмовскому болоту, поселения человека могли отсутствовать.

Заметное увеличение аккумуляции макрочастиц угля в торфе и возрастание частоты пожаров выявлено для последнего тысячелетия. В течение временного интервала между 900 и 300 кал. л. н. в окрестностях Подкосьмовского болота произошло 9 крупных пожарных эпизодов, МПИ сократился до 50–100 лет. Уменьшение лесистости в регионе исследований в тот же период и обилие пыльцы антропогенных индикаторов в спорово-пыльцевых спектрах свидетельствуют о возрастании антропогенного воздействия на растительный покров (Lukanina et al., 2022). Согласно археологическим данным, в Средневековье территория Куликова поля неоднократно была заселена и вновь оставлена человеком. В ее пределах известно свыше 250 древнерусских памятников, включая городища и могильники, относящихся к двум этапам активизации освоения региона: конец XII – середина XIII в., и первая половина XIV – конец XIV в. (Гоняный и др., 2007). Пожары, возможно, происходили не только по естественным причинам, но под влиянием человека. Следует отметить, что похолодание Малого ледникового периода (МЛП), установленное в Европе в XIV–XVII вв. по данным многочисленных палеоархивов с большим географическим охватом (PAGES 2k Consortium, 2013), не привело на территории Куликова поля к сокращению пожаров и увеличению площади лесов.

Результаты спорово-пыльцевого анализа выявили существенную деградацию лесов в течение последних 300 лет, которая связана с освоением территории в Новое время. В этот период происходило возделывание больших площадей пашни, увеличилась плотность населения региона, появились новые населенные пункты и дороги (Бурова, Наумов, 2022). В настоящее время лесистость территории Куликова поля не превышает 10% (Новенко, 2017). Согласно результатам анализа макрочастиц угля в торфе, поступление

угля в торфяную залежь в течение последних 300 лет сократилось. Возможно, фрагментация лесов и меры по предотвращению и тушению пожаров привели к снижению пожарной активности в регионе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование концентрации макроскопических (более 100 мкм) частиц угля в торфе позволило сделать вывод, что в позднем голоцене наибольшая частота пожаров на территории Куликова поля и высокие значения скорости аккумуляции макрочастиц угля в торфе были характерны для интервала 900–300 кал. л. н. Высокая пожарная активность в этот период была, очевидно, обусловлена действием антропогенного фактора при освоении изучаемого региона в Средневековье. Временной интервал повышенного накопления угля в торфе совпадает с этапами активизации освоения региона, подтвержденными многочисленными археологическими находками древнерусских памятников.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Полевые работы и анализ макроскопических частиц угля в торфе выполнены при поддержке проектов РФФИ № 20-55-04003 и БРФФИ № X21PM-043. Анализ данных и подготовка публикации выполнены в рамках государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0005.

FUNDING

Field work and analysis of macroscopic charcoal particles in peat were supported by RFBR, project no. 20-55-04003 and BRFFR project no. X21PM-043. Data analysis and paper preparation were supported by the State assignment no. FMWS-2024-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александровский А.Л., Чендев Ю.Г., Трубицын М.А. Палеопочвенные индикаторы изменчивости экологических условий центральной лесостепи в позднем голоцене // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 6. С. 87–99.
- Александровский А.Л., Чендев Ю.Г., Юртаев А.А. Почвы со вторым гумусовым горизонтом и палеочерноземы как свидетельства эволюции педогенеза в голоцене на периферии лесной зоны и в лесостепи (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 147–167.
- DOI: 10.31857/S0032180X22020022
- Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Формирование почвообразующих пород голоценовых почв в центре Восточно-Европейской рав-

- нины // Проблемы региональной экологии. 2015. № 6. С. 31–35.
- Бурова О.В., Гласко М.П. Восстановление лесостепных экосистем Верхнего Дона (Куликово поле) на основе палеоэкологических реконструкций // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007. № 1. С. 107–119.
- Бурова О.В., Наумов А.Н. Изменение структуры землепользования в верховьях Дона с конца XII до начала XX вв. (на примере балочного комплекса “Журишки”, Тульская область) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2022. № 4. С. 639–650.
DOI: 10.31857/S2587556622040033
- Волкова Е.М. Пойменные болота северо-востока Среднерусской возвышенности // Бот. журн. 2011. Т. 96. № 4. С. 503–514.
- Волкова Е.М., Полянчева С.А., Розова И.В., Бурова О.В. Экспериментальное восстановление степной растительности Куликова Поля (Тульская область): некоторые итоги оценки ценотического разнообразия // Изв. ТулГУ. Естественные науки. 2020. Вып. 4. С. 49–64.
DOI: 10.24411/2071-6176-2020-10406
- Волкова Е.М., Бурова О.В., Розова И.В. Восстановление степной растительности Куликова поля. Методы и результаты экспериментов. Тула: Изд-во ТулГУ, 2022. 61 с.
- Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 576 с.
- Герасимова О.А., Сычева С.А. Ландшафты и почвы центральной лесостепи Восточно-Европейской равнины в IV–V вв. н.э. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 3. С. 69–81.
- Гоняный М.И., Александровский А.Л., Гласко М.П. Северная лесостепь бассейна Верхнего Дона времени Куликовской битвы. М.: Унопринт, 2007. 208 с.
- Горская Е.А., Гласко М.П., Александровский А.Л. Изменения почв и рельефа поймы верховьев Дона в районе поселений XVI–XVII вв. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 6. С. 67–81.
DOI: 10.15356/0373-2444-2016-6-67-81
- Зацаринная Д.В., Волкова Е.М., Леонова О.А. Разнообразие растительности пойменных болот юго-восточной части Тульской области // Изв. ТулГУ. Естественные науки. 2022. Вып. 1. С. 28–36.
DOI: 10.24412/2071-6176-2022-1-28-37
- Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1985. 320 с.
- Климанов В.А., Серебрянная Т.А. Изменения растительности и климата на Среднерусской возвышенности в голоцене // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1986. № 2. С. 93–101.
- Новенко Е.Ю. Динамика ландшафтов и климата в центральной и восточной Европе в голоцене – прогнозные оценки изменения природной среды // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 3. С. 24–47.
DOI: 10.31857/S0435428121030093
- Новенко Е.Ю. Реконструкция динамики древесной растительности территории музея-заповедника “Куликово поле” в среднем и позднем голоцене // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2017. Т. 2. № S2. С. 66–76.
DOI: 10.24189/ncr.2017.034
- Новенко Е.Ю., Гласко М.П., Волкова Е.М., Зюганова И.С. Динамика ландшафтов и климата бассейна Верхнего Дона в среднем и позднем голоцене // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 2. С. 68–82.
- Новенко Е.Ю., Зюганова И.С., Дюжова К.В., Волкова Е.М. Динамика растительности на южной границе зоны широколиственных лесов Восточно-Европейской равнины в среднем и позднем голоцене // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017. № 5. С. 82–94.
DOI: 10.7868/S0373244417050073
- Носова М.Б. Современные спорово-пыльцевые спектры зоны широколиственных лесов и лесостепного экотона // Изв. ТулГУ. Естественные науки. 2019. № 3. С. 94–108.
- Разуваев В.Н., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетишин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-прикладной справочник “Климат России”. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2020. (дата обращения 10.12.2022).
<http://aisori-m.meteo.ru/climsprn>
- Растительность Европейской части СССР / ред. С.А. Грибова, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко. Л.: Наука, 1980. 425 с.
- Розова И.В., Волкова Е.М. Оценка структуры земель Куликова поля с использованием гис-технологий // Изв. ТулГУ. Естественные науки. 2020. № 3. С. 27–39.
- Семенович Ю.А., Волкова Е.М. Экологические и флористические различия двух типов сообществ широколиственных лесов на Среднерусской возвышенности // Rus. J. Ecosyst. Ecol. 2021. Т. 6. № 1. С. 36–54.
DOI: 10.21685/2500-0578-2021-1-3
- Семенович Ю.А., Булохов А.Д., Полуянов А.В., Волкова Е.М. Синтаксономический обзор мезофитных широколиственных лесов союза *Aceri campestris*–*Quercion roboris* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015 юго-запада России // Растительность России. 2022. № 44. С. 136–162.
- Серебрянная Т.А. Взаимоотношения леса и степи на Среднерусской возвышенности в голоцене // История биоценозов СССР в голоцене / ред. Л.Г. Динесман. М.: Наука, 1976. С. 59–166.
- Серебрянная Т.А., Ильвес Э.О. Палинологические материалы по голоценовым отложениям района Верхней Оки // Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода. 1974. № 42. С. 159–165.
- Спиридонова Е.А. Эволюция растительного покрова бассейна Дона в верхнем плейстоцене-голоцене. М.: Наука, 1991. 221 с.
- Сычева С.А. Развитие пойменных почв и ландшафтов в голоцене в районе Куликова поля // Почвоведение. 2009. № 1. С. 18–28.

- Фоломеев Б.А., Александровский А.Л., Гласко М.П., Гоняный М.И., Гуман М.А. Древние поселения и природная среда приустьевой части Непрядвы // Куликово поле. Материалы исследования / ред. А.К. Зайцев. М.: Государственный исторический музей, 1990. С. 10–53.
- Фоломеев Б.А., Гласко М.П., Хотинский Н.А., Гуман М.А., Александровский А.Л., Былинская Л.Н. Монастырщина II – неолитическое и средневековое поселение на Куликовом поле в верховьях Дона // Археология и палеогеография мезолита и неолита Русской равнины / ред. И.П. Герасимов. М.: Наука, 1984. С. 120–136.
- Хотинский Н.А. История и география Куликова поля. М.: Знание, 1988. 64 с.
- Хотинский Н.А., Фоломеев Б.А., Гуман М.А. Археолого-палеогеографические исследования на Средней Оке // Советская археология. 1979. № 3. С. 6–81.
- Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // Bayesian Analysis. 2011. Vol. 6. № 3. P. 457–474. DOI: 10.1214/ba/1339616472
- Borisova O., Sidorchuk A., Panin A. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data // Catena. 2006. Vol. 66. № 1–2. P. 53–73. DOI: 10.1016/j.catena.2005.07.010
- Davis B.A.S., Brewer S., Stevenson A.C., Guiot J. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data // Quat. Sci. Rev. 2003. Vol. 22. P. 1701–1716.
- Finsinger W., Bonnici I. Tapas: an R package to perform trend and peaks analysis. 2022. DOI: 10.5281/zenodo.6344463 (accessed 01.06.2022).
- Higuera P.E., Brubaker L.B., Anderson P.M., et al. Vegetation mediated the impacts of postglacial climate change on fire regimes in the south-central Brooks Range, Alaska // Ecol. Monographs. 2009. Vol. 79. P. 201–219.
- Kurbanova F., Makeev A., Aseyeva E., Kust P., Khokhlova O., Puzanova T., Sverchkova A., Kozmirchuk I. Pedogenic response to Holocene landscape evolution in the forest-steppe zone of the Russian Plain // Catena. 2023. Vol. 220. Part A. Art. 106675. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106675
- Lukanina E., Shumilovskikh L., Novenko E. Vegetation and fire history of the East-European forest-steppe over the last 14,800 years: A case study from Zamostye, Kursk region, Russia // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. 2022. Vol. 605. Art. 111218. DOI: 10.1016/j.palaeo.2022.111218
- Mauri A., Davis B.A.S., Collins P.M., Kaplan J.O. The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation // Quat. Sci. Rev. 2015. Vol. 112. P. 109–127. DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.01.013
- Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires and Peat. 2011. Vol. 7. P. 1–18.
- Novenko E.Yu., Volkova E.M. The middle and late Holocene vegetation and climate history of the forest-steppe ecotone area in the central part of European Russia // Geograph. Rev. Japan. Series B. 2015. Vol. 87. № 2. P. 1–8. DOI: 10.1007/s10531-016-1051-8
- Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Rudenko O.V., et al. Mid- and late-Holocene vegetation history, climate and human impact in the forest-steppe ecotone of European Russia: new data and a regional synthesis // Biodivers. Conserv. 2016. Vol. 25. P. 2453–2472. DOI: 10.1007/s10531-016-1051-8
- Novenko E.Yu., Volkova E.M., Glasko M.P., et al. Palaeoecological evidence for the middle and late Holocene vegetation, climate and land use in the upper Don River basin (Russia) // Veget. Hist. Archaeobot. 2021. Vol. 21. P. 337–352. DOI: 10.1007/s00334-011-0339-6
- PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia // Nature Geosci. 2013. Vol. 6. P. 339–346. DOI: 10.1038/ngeo1834
- Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., et al. Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain // Quat. Sci. Rev. 2017. Vol. 166. P. 266–288. DOI: 10.1016/j.quascirev.2016.12.002
- R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. www.R-project.org/ (accessed 01.02.2022).
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E., et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 4. P. 725–757. DOI: 10.1017/RDC.2020.41
- Shumilovskikh L.S., Novenko E., Giesecke T. Long-term dynamics of the East European forest-steppe ecotone // J. Veget. Sci. 2018. Vol. 29. P. 416–426. DOI: 10.1111/jvs.12585
- Volkova E.M., Lebedeva M.V., Yamalov S.M. Vegetation dynamics of Kulikovo Field agrostepes: the contribution of environmental factors // IOP Conf. Series: Earth and Environment. Sci. 2021. Vol. 817. Art. 012112. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012112
- Whitlock C., Higuera P.E., McWethy D.B., et al. Paleoeological Perspectives on Fire Ecology: Revisiting the Fire-Regime Concept // Open Ecol. J. 2010. Vol. 3. P. 6–23. DOI: 10.2174/1874213001003020006

Reconstructions of Paleofires in the Upper Don Basin in the Late Holocene

D. A. Kupriyanov^a, E. M. Volkova^{b, *}, V. V. Mironov^b, O. A. Leonova^b,
A. A. Chepurnaya^c, and E. Yu. Novenko^{d, e; **}

^aLaboratory of Contextual Anthropology, Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^bDepartment of Biology, Tula State University, Tula, Russia

^cDepartment of Physical Geography and Landscape Science, Faculty of Geography,
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

^dDepartment of Quaternary Paleogeography, Institute of Geography
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^eFaculty of Geography and Geoinformation Technologies, HSE University, Moscow, Russia

*e-mail: convallaria@mail.ru

**e-mail: lenanov@mail.ru

Reconstruction of the fire frequency in the area of the Kulikovo Battlefield Museum Reserve (Upper Don Basin, Central Russian Upland) over the last 4000 years was carried out on the basis of macrocharcoal analysis (study of macroscopic charcoal particles with a linear size greater than 100 µm) of the peat core from the Podkosmovsky bog, which received the status of a specially protected natural area in 2013. The results of macroscopic charcoal analysis were compared with published quantitative reconstructions of forest cover and vegetation dynamics in the region, palynological data and archaeological material. The results of the study showed low fire activity in the area of the Kulikovo Battlefield between 4000 and 1500 cal (calibrated) years BP. According to the results of pollen analysis, the study area belonged to the forest-steppe vegetation zone during this period. The mosaic of plant cover included patches of deciduous pine forests, floodplain alder forests and grassland steppes on dry slopes. The forest cover of the area was 30–40% and reached 45% at about 2700 cal years BP, when the climate cooled and humidity increased. From 1500 cal years BP, the rate of charcoal accumulation in the peat deposit of the Podkosmosky bog gradually increased. The highest frequency of forest fires and the highest charcoal accumulation rates in peat were found for the period 900–300 cal years BP. The relationship between the periods of increased charcoal influx and climatic changes in the Late Holocene has not been established, but there is a clear correspondence between the interval of increased charcoal accumulation in peat and the stages of human activity in the region, confirmed by numerous archaeological finds. The decrease in forest cover in the study area to 15–20% over the same period and the abundance of anthropogenic pollen indicators in the pollen assemblages indicate an increase in human impact on the vegetation.

Keywords: peat deposit, fire return interval, macroscopic charcoal, paleoantracological analysis, forest coverage, analysis of plant macro remains, pollen analysis

REFERENCES

- Aleksandrovskiy A.L., Chendev Y.G., Trubitsyn M.A. Paleo soil indicators of changes in ecological conditions in the central forest-steppe during the late Holocene. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2011, no. 6, pp. 87–99. (In Russ.).
- Alexandrovskiy A.L., Chendev Y.G., Yurtaev A.A. Soils with the Second Humus Horizon, Paleochernozems, and the History of Pedogenesis at the Border between Forest and Steppe Areas. *Eurasian Soil Sci.*, 2022, vol. 55, no. 2, pp. 127–146.
<https://doi.org/10.1134/S1064229322020028>
- Alifanov V.M., Gugalinskaya L.A., Ovchinnikov A.Yu. Formation of soil-forming rocks of Holocene soils in the center of the East European Plain. *Probl. Reg. Ecol.*, 2015, no. 6, pp. 31–35. (In Russ.).
- Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.*, 2011, vol. 6, no. 3, pp. 457–474.
<https://doi.org/10.1214/ba/1339616472>
- Borisova O., Sidorchuk A., Panin A. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data. *Catena*, 2006, vol. 66, no. 1–2, pp. 53–73.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.010>
- Burova O.V., Glasko M.P. Reconstruction of Upper Don forest-steppe ecosystems (Kulikovo field) based on paleoecological reconstructions. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2007, no. 1, pp. 107–119. (In Russ.).
- Burova O.V., Naumov A.N. Changing structure of the land use system in the Don River Upper Reaches from the end of the 12th to the beginning of the 20th centuries A.D. (the case study of the Zhurishki beam complex, Tula region). *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2022, no. 4, pp. 639–650. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S2587556622040033>
- Davis B.A.S., Brewer S., Stevenson A.C., Guiot J. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. *Quat. Sci. Rev.*, 2003, no. 22, pp. 1701–1716.
- Finsinger W., Bonnici I. Tapas: an R package to perform trend and peaks analysis, 2022. (accessed: 01.06.2022).
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6344463>

- Folomeev B.A., Aleksandrovskiy A.L., Glasko M.P., Gonyanyi M.I., Guman M.A. Ancient settlements and environment in the mouth part of the Nepryavda River. In *Kulikovo pole. Materialy issledovaniya* [Kulikovo Field. Research Materials]. Zaitzev A.K., Ed. Moscow: Gos. Istor. Musei, 1990, pp. 10–53. (In Russ.).
- Folomeev B.A., Glasko M.P., Khotinskii N.A., Guman M.A., Aleksandrovskiy A.L., Bylinskaya L.N. Monastyrshchyna II is the Neolithic and Medieval settlement on Kulikovo field in the Upper Don River Basin. In *Arkheologiya i paleogeografiya mezolita i neolita Russkoi ravniny* [Archaeology and Paleogeography of the Mesolithic and Neolithic of the Russian Plain]. Gerasimov I.P., Ed. Moscow: Nauka Publ., 1984, pp. 120–136. (In Russ.).
- Gerasimova O.A., Sycheva S.A. Landscapes and soils of the central forest-steppe in the East-European Plain at 4th–5th centuries A.D. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2010, no. 3, pp. 69–81. (In Russ.).
- Gonyanyi M.I., Aleksandrovskiy A.L., Glasko M.P. *Severnaya lesostep' basseina Verkhnego Dona vremeni Kulikovskoi bitvy* [Northern Forest Steppe in the Upper Don River Basin at the Age of Kulikovskaya Battle]. Moscow: Unoprint Publ., 2007. 208 p.
- Gorskaya E.A., Glasko M.P., Aleksandrovskiy A.L. Changes in soils and relief of floodplain of the Upper Don River basin in the area of settlements of the 16th–17th centuries A.D. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2016, no. 6, pp. 67–81. (In Russ.).
<https://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-6-67-81>
- Gvozdet'skii N.A. *Fiziko-geograficheskoe raionirovanie SSSR* [Physical-Geographical Zoning of the USSR]. Moscow: Izd-vo Mosk. Univ., 1968. 576 p.
- Higuera P.E., Brubaker L.B., Anderson P.M., Hu F.S., Brown T.A. Vegetation mediated the impacts of postglacial climate change on fire regimes in the south-central Brooks Range, Alaska. *Ecol. Monogr.*, 2009, no. 79, pp. 201–219.
- Isachenko A.G. *Landshafty SSSR* [Landscapes of USSR]. Leningrad: Izd-vo Leningrad. Univ., 1985. 320 p.
- Khotinskii A.L., Folomeev B.A., Guman M.A. Archaeological-paleogeographical research in the Middle Oka River basin. *Sovet. Arkheol.*, 1979, no. 3, pp. 6–81. (In Russ.).
- Khotinskii N.A. *Istoriya i geografiya Kulikova polya* [History and Geography of Kulikovo Field]. Moscow: Znanie Publ., 1988. 62 p.
- Klimanov V.A., Serebrianaya T.A. Changes of vegetation and climate on the Middle-Russian Upland in the Holocene. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1986, no. 2, pp. 93–101. (In Russ.).
- Kurbanova F., Makeev A., Aseyeva E., Kust P., Khokhlova O., Puzanova T., Sverchkova A., Kozmirschuk I. Pedogenic response to Holocene landscape evolution in the forest-steppe zone of the Russian Plain. *Catena*, 2023, no. 220, Part A, art. 106675.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106675>
- Lukanina E., Shumilovskikh L., Novenko E. Vegetation and fire history of the East-European forest-steppe over the last 14,800 years: A case study from Zamostye, Kursk region. Russia. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2022, vol. 605, no. 1, art. 111218.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111218>
- Mauri A., Davis B.A.S., Collins P.M., Kaplan J.O. The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation. *Quat. Sci. Rev.*, 2015, vol. 112, pp. 109–127.
<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.01.013>
- Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires Peat*, 2011, no. 7, pp. 1–18.
- Nosova M.B. Modern pollen spectra in broadleaved forest zone and forest-steppe ecotone. *Izv. Tul'sk. Gos. Univ., Estestv. Nauki*, 2019, no. 3, pp. 94–108. (In Russ.).
- Novenko E.Yu. Reconstruction of arboreal vegetation dynamics in the area of museum-reserve “Kulikovo field” during the Middle and Late Holocene. *Nat. Conserv. Res. Zapoved. Nauka*, 2017, vol. 2, no. S2, pp. 66–76. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24189/ncr.2017.034>
- Novenko E.Yu. Landscape and climate dynamics in Central and Eastern Europe during the Holocene – assessment of future environmental changes. *Geomorfolog.*, 2021, no. 3, pp. 24–47. (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0435428121030093>
- Novenko E.Yu., Glasko M.P., Volkova E.M., Zugarova I.S. Landscape and climate dynamics of the Upper Don River basin in the Mid- and Late Holocene. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013, no. 2, pp. 68–82. (In Russ.).
- Novenko E.Yu., Volkova E.M. The middle and late Holocene vegetation and climate history of the forest-steppe ecotone area in the central part of European Russia. *Geogr. Rev. Jpn. Ser. B*, 2015, vol. 87, no. 2, pp. 1–8.
<https://doi.org/10.1007/s10531-016-1051-8>
- Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Rudenko O.V., Volkova E.V., Zuyganova I.S., Babeshko K.V., Olchev A.V., Losbenev N.I., Payne R.J., Mazei Y.A. Mid- and Late-Holocene vegetation history, climate and human impact in the forest-steppe ecotone of European Russia: new data and a regional synthesis. *Biodivers. Conserv.*, 2016, vol. 25, pp. 2453–2472.
<https://doi.org/10.1007/s10531-016-1051-8>
- Novenko E.Yu., Zyuganova I.S., Dyuzhova K.V., Volkova E.M. Vegetation dynamics on the southern boundary of the broad-leaved forest zone of the East European Plain in the middle and late Holocene. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2017, no. 5, pp. 82–94. (In Russ.).
<https://doi.org/10.7868/S0373244417050073>
- Novenko E.Yu., Volkova E.M., Glasko M.P., Zugarova I.S. Palaeoecological evidence for the Middle and Late Holocene vegetation, climate and land use in the Upper Don River basin (Russia). *Veg. Hist. Archaeobot.*, 2021, no. 21, pp. 337–352.
<https://doi.org/10.1007/s00334-011-0339-6>
- PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia. *Nat. Geosci.*, 2013, no. 6, pp. 339–346.
<https://doi.org/10.1038/ngeo1834>
- Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., Novenko E. Two Late Pleistocene cli-

- mate-driven incision/aggradation rhythms in the middle Dnieper River basin, west-central Russian Plain. *Quat. Sci. Rev.*, 2017, vol. 166, pp. 266–288. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.002>
- R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (accessed: 01.02.2022). <http://www.r-project.org/>
- Rastitel'nost' Evropeiskoi chasti SSSR* [Vegetation of the European Part of the USSR]. Gribova S.A., Isachenko T.I., Lavrenko E.M., Eds. Leningrad: Nauka Publ., 1980. 425 p.
- Razuvaev V.N., Bulygina O.N., Korshunova N.N., Klshchenko L.K., Kuznetsova V.N., Trofimenko L.T., Shestyukov A.B., Svets N.V., Davletin S.G., Zvereva G.N. *Nauchno-prikladnoi spravochnik "Klimat Rossii"* [Scientific and Applied Reference Book Climate of Russia], 2021. (accessed: 10.12.2022). <http://aisori-m.meteo.ru/climspn>
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reim Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 2020, no. 4, pp. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Rozova I.V., Volkova E.M. The assessment of the land structure of Kulikovo field with using GIS technologies. *Izv. Tul'sk. Gos. Univ., Estestv. Nauki*, 2020, no. 3, pp. 27–39. (In Russ.).
- Semenishchenkov Yu.A., Bulokhov A.D., Poluyanov A.V., Volkova E.M. Syntaxonomical survey of mesophilous broad-leaved forests of the alliance *Aceri campestris–Quercion roboris* Bulokhov et Solomeshch in Bulokhov et Semenishchenkov 2015 on the South-West of Russia. *Rastitel. Ross.*, 2022, no. 44, pp. 136–162. (In Russ.).
- Semenishchenkov Yu.A., Volkova E.M. Ecological and floristic differences of two types of broad-leaved forest communities on the Middle-Russian Upland. *Rus. J. Ecosyst. Ecol.*, 2021, vol. 6, no. 1, pp. 36–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2021-1-3>
- Serebriannaya T.A. The relationship of forest and steppe on the Mid-Russian upland in the Holocene. In *Istoriya biotsenozov SSSR v golotsene* [The History of Biocenoses of the USSR in the Holocene]. Dinesman L.G., Ed. Moscow: Nauka Publ., 1976, pp. 59–166. (In Russ.).
- Serebriannaya T.A., Il'ves E.O. Palynological data from the Holocene deposits of the Upper Oka region. *Byull. Komiss. Izuch. Chetvert. Period.*, 1974, no. 42, pp. 159–165. (In Russ.).
- Shumilovskikh L.S., Novenko E., Giesecke T. Long-term dynamics of the East European forest-steppe ecotone. *J. Veget. Sci.*, 2018, no. 29, pp. 416–426. <https://doi.org/10.1111/jvs.12585>
- Spiridonova E.A. *Evolutsiya rastitel'nogo pokrova basseina Dona v verkhnem pleistotsene-golotsene* [Evolution of the Vegetation Cover of the Don River Basin in the Upper Pleistocene-Holocene]. Moscow: Nauka Publ., 1991. 221 p.
- Sycheva S.A. Holocene evolution of floodplain soils and landscapes in the Kulikovo field area. *Eurasian Soil Sci.*, 2009, vol. 42, no. 1, pp. 13–23. <https://doi.org/10.1134/S1064229309010037>
- Volkova E.M. Floodplain mires of the north-eastern part of Mid-Russian Upland. *Bot. Zh.*, 2011, vol. 96, no. 4, pp. 503–514. (In Russ.).
- Volkova E.M., Burova O.V., Rozova I.V. *Vosstanovlenie stepnoi rastitel'nosti Kulikova polya. Metody i rezul'taty eksperimentov* [The Restoration of Steppe Vegetation of Kulikovo Field. Methods and Results of Experiments]. Tula: Tul'sk. Gos. Univ., 2022. 61 p.
- Volkova E.M., Lebedeva M.V., Yamalov S.M. Vegetation dynamics of Kulikovo field agrostepes: the contribution of environmental factors. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 817, art. 012112. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012112>
- Volkova E.M., Poliancheva C.A., Rozova I.V., Burova O.V. The experimental restoration of steppe vegetation of Kulikovo field (Tula region): some results of the cenotic diversity assessment. *Izv. Tul'sk. Gos. Univ., Estest. Nauki*, 2020, no. 4, pp. 49–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2071-6176-2020-10406>
- Whitlock C., Higuera P.E., McWethy D.B., Briles C.E. Paleocological Perspectives on Fire Ecology: Revisiting the Fire-Regime Concept. *Open Ecol. J.*, 2010, no. 3, pp. 6–23. <https://doi.org/10.2174/1874213001003020006>
- Zatsarinna D.V., Volkova E.M., Leonova O.A. The vegetation diversity of floodplain mires in south-eastern part of Tula region. *Izv. Tul'sk. Gos. Univ., Estest. Nauki*, 2022, no. 1, pp. 28–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2071-6176-2022-1-28-37>