

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ДИНАМИКИ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИИ МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА «КУЛИКОВО ПОЛЕ» В СРЕДНЕМ И ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

Е. Ю. Новенко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

<sup>2</sup>Институт географии РАН, Россия

e-mail: lenanov@mail.ru

Поступила в редакцию: 21.03.2017

В статье представлены результаты реконструкции динамики растительности и количественные оценки лесистости территории Государственного военно-исторического и природного музея-заповедника «Куликово поле» (бассейн Верхнего Дона) в среднем и позднем голоцене на основе современных и ископаемых спорово-пыльцевых спектров и данных дистанционного зондирования (MODIS) при помощи аналогового метода палеоэкологических реконструкций. Полученные данные показали, что в период 7000–4500 кал. (календарных) лет назад на изучаемой территории была распространена степная растительность, лесистость составляла 10–20%. Похолодание и увлажнении климата около 4500 кал. лет назад послужило импульсом для продвижения границы леса к югу и распространению в бассейне Верхнего Дона лесостепной растительности с участием сосновых и широколиственных лесов из дуба, липы, вяза и ольхи. Луговые степи сохранялись преимущественно на сухих склонах и хорошо дренируемых водоразделах. Лесистость территории составляла 30–40% и к 2700 кал. лет назад достигала 45%. Существенные изменения растительного покрова и сокращение площадей, покрытых лесом (до 15%), относится к временному рубежу около 2400 кал. лет назад и связаны как с действием антропогенного фактора, так и с климатическими причинами. Реконструкции лесистости территории в последующие этапы хорошо согласуются с историей ее хозяйственного освоения. Экстенсивное сельское хозяйство во временные интервалы, когда территории была обитаема, приводило к деградации лесной растительности и формированию природно-антропогенных ландшафтов. В периоды, когда человек покидал территорию Куликова поля, лесные сообщества восстанавливали свои позиции.

**Ключевые слова:** голоцен, лесистость, музей-заповедник «Куликово поле», спорово-пыльцевой анализ, спутниковые данные MODIS

### Введение

Изучение динамики лесной растительности на территории современной лесостепной зоны в голоцене и реконструкции роли антропогенного фактора в формировании природных и природно-антропогенных ландшафтов приобретает в последнее время большое значение в связи с проблемами охраны окружающей среды и развития стратегий устойчивого развития регионов. В практике спорово-пыльцевого анализа реконструкции растительного покрова чаще всего осуществлялись на качественном уровне (Хотинский, 1977; Динамика ландшафтных компонентов..., 2002; Борисова, 2008; Палеоклиматы и палеоландшафты..., 2009) или на основе простых статистических моделей, основанных на взаимосвязи между количеством древесной пыльцы в спектрах и площадью лесной растительности на окружающей территории (Broström et al., 1998; Sugita et al., 1999). В моделях следующего поколения учитывалось влияние региональных компонентов спорово-пыльцевого спектра (Casel-

dine & Fyfe, 2006), пыльцевая продуктивность отдельных видов растений и размер территории, с которой пыльца поступает на исследуемый участок (Broström et al., 2005, 2008). Следующим шагом в развитии модельных подходов был LRA («Landscape Reconstruction Algorithm»), предложенный Ш. Сугитой (Sugita, 2007) и успешно использованный для реконструкции динамики растительного покрова в различных регионах Европы (Gaillard et al., 2008). Однако сложность модельных расчетов препятствует широкому использованию LRA в практике палеоландшафтных реконструкций.

В последнее десятилетие инновационная методика для количественной оценки динамики древесной растительности на северо-востоке Азии и в Сибири была разработана П.Е. Тарасовым с соавторами (Tarasov et al., 2007). Для восстановления степени облесенности территории в позднем плейстоцене и голоцене были использованы современные и ископаемые спорово-пыльцевые спектры, данные дистанционного зондирования (Hansen et al.,

2003) и аналоговый метод палеоэкологических реконструкций (Guiot, 1990). Е.Ю. Новенко с соавторами данная методика была применена для оценки антропогенных нарушений растительности Восточно-Европейской равнины в голоцене (Novenko et al., 2014).

В рамках представленной работы реконструкция истории растительности, включающая количественные оценки лесистости (отношение покрытой лесом площади к общей площади рассматриваемой территории) по палинологическим данным, была выполнена для территории Государственного военно-исторического и природного музея-заповедника «Куликово Поле». В качестве тестовой территории этот музей-заповедник, расположенный в бассейне Верхнего Дона в лесостепной зоне, был выбран не случайно. В лесостепи проходит важный биоклиматический рубеж, так называемая «нулевая полоса» соотношения осадков и испаряемости, поэтому даже небольшие колебания соотношения теплообеспеченности и увлажнения находят свое отражение в структуре растительного покрова территории и изменениях доли лесных сообществ.

### Территория исследований

Государственный военно-исторический и природный заповедник «Куликово Поле» (Туль-

ская область) расположен в бассейне Верхнего Дона (рис. 1) в подзоне северной лесостепи. Задачи по реконструкции природного ландшафта, соответствующего времени Куликовской битвы, и изучению героических событий 1380 г. послужили импульсом для комплексного изучения этого района (Александровский, Чичагова, 1998; Хотинский, 1988; Гоняный и др., 2007). В настоящее время военно-исторический и природный заповедник «Куликово Поле» – территория площадью около 1600 км<sup>2</sup> – важнейший модельный регион для изучения современного ландшафта и его компонентов с целью сохранения и восстановления природных комплексов в условиях интенсивной антропогенной нагрузки в последние десятилетия.

Территория Куликова поля относится к северо-восточной части Среднерусской возвышенности. Современный рельеф представляет собой небольшие по площади полого-увалистые водораздельные пространства с абсолютной высотой 210–234 м, осложненные протяженными, плоскодонными и узкими ложбинами (Гоняный и др., 2007; Novenko et al., 2012). Длинные и пологие водораздельные склоны расчленены балками с молодыми донными врезами и крутыми, местами оползневыми склонами. Речная сеть хорошо развита; главные реки – Дон и Непрядва с притоками.

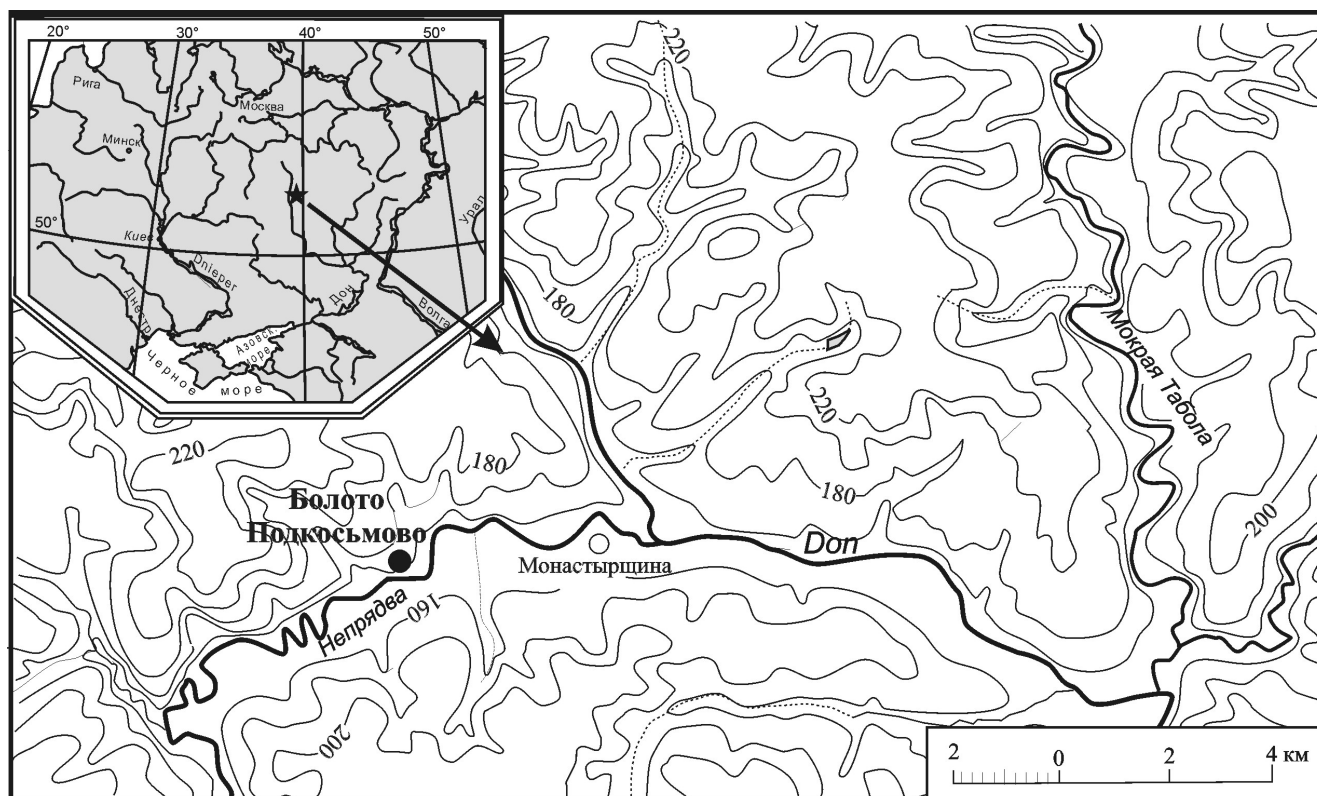


Рис. 1. Географическое положение музея-заповедника «Куликово поле» и позиция изученного болота.

Fig. 1. Geographical location of the Museum-Reserve «Kulikovo pole» and position of studied peatland.

Климат области – умеренный, умеренно-континентальный, отвечающий переходному положению территории между умеренно влажными северо-западными районами и более теплыми и сухими районами юго-восточной части Европейской России. По данным метеостанции в г. Богородицк, расположенной недалеко от района Куликова поля, среднегодовая температура +3.8°C, средняя температура января и июля -10.6°C и +18.4°C соответственно. Осадков выпадает 534 мм в год.

Для северной лесостепи характерно сочетание разнообразных типов почв: черноземных, серых лесных, а также луговых. Растительный покров включает в себя как лесные, так и травянистые сообщества. В бассейне верхнего Дона и его притоков произрастают довольно крупные массивы лесостепных дубрав с опушками из терна и степной вишни. Однако, на большей части территории растительные сообщества трансформированы хозяйственной деятельностью человека.

Реконструкция истории лесной растительности территории музея-заповедника «Куликово поле» выполнена по палинологическим данным болота Подкосьюмово (N 53°40'117" E 38°35'258"), расположенного на правом берегу р. Непрядвы, в 2 км выше по течению деревни Монастырщина (см. рис. 1). Образование болота началось в суббореальном периоде голоцена в старице тыловой части поймы р. Непрядвы (правый приток р. Дон). Радиоуглеродная датировка базального горизонта торфяной залежи – 5042 ± 116 кал. (календарных) лет назад. Торфяная залежь имеет мощность 120 см и сформирована осоковым низинным торфом. Степень разложения торфа варьирует от 40% до 60%, что вероятно, связано с периодическим пересыханием болота, обуславливающим активное разложение отмерших растительных остатков.

### Материал и методы

**ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ.** Изучение болотной геосистемы и отбор образцов были выполнены с использованием торфяного бура Сукачева. Образцы для спорово-пыльцевого анализа и подсчетов частиц угля были взяты с интервалом 3–5 см. Лабораторная обработка проведена по стандартной методике (Moore et al., 1991). Параллельно со спорово-пыльцевым анализом в препаратах был проведен подсчет микрочастиц угля по методике Кларка (Clark, 1982). С целью последующих расчетов концентрации пыльцы и углистых частиц в породе образцы определенного объема обрабатыва-

лись с добавлением таблеток спор *Lycopodium* (Stockmarr, 1971). Обработка данных и построение спорово-пыльцевых и карпологических диаграмм проводились с помощью программы TILIA и TILIA-Graph (Grimm, 1990).

Для разреза в радиоуглеродной лаборатории Института географии РАН получено 3 датировки (табл.), что обеспечивает надежный хронологический контроль реконструкции. Калибровка радиоуглеродных дат проведена в программе IntCal13 (Reimer et al., 2013). Модель роста отложений (рис. 2) и расчеты скорости накопления торфа были выполнены при помощи программы Bchron (Parnell et al., 2008). Возраст отложений нижней части разреза (глубина 145–115 см) определена путем экстраполяции радиоуглеродных датировок с учетом принятой модели возраст/глубина.

**СОВРЕМЕННЫЕ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫЕ СПЕКТРЫ.** Для палеоэкологических реконструкций, основанных на сравнительном анализе условий, существовавших в прошлом и восстановленных при помощи ископаемых спорово-пыльцевых спектров, с условиями, существующими в настоящее время и описываемыми современными спектрами, требуется обширная коллекция поверхностных проб. В рамках проведенного исследования была собрана база данных современных спорово-пыльцевых спектров, включающая 985 точек, расположенных в различных типах ландшафтов Европы от лесотундры и тайги до экстрораидных ландшафтов. База данных включает территорию России, Центральную и Западную Европу, а также серия точек находится в юго-восточном Средиземноморье и на Ближнем Востоке. Количественные подсчеты пыльцы и спор в поверхностных спектрах были взяты из Европейской палинологической базы данных (Davis et al., 2013) и Российской палинологической базы данных (Новенко, Чепурная, 2015), а также использованы собственные материалы автора.

**ДАННЫЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.** В настоящее время спутниковые данные о размерах покрытой лесом площади широко используются для уточнения карт растительности и выявления ущерба лесным насаждениям от ветровалов, пожаров и несанкционированных рубок (Барталев и др., 2011). В представленной работе оценки современной лесистости были выполнены с использованием спутникового продукта «Vegetation Continuous Fields», разработанного специалистами НАСА и учеными

университета Мериленда (Hansen et al., 2003) на основе данных спектрорадиометра среднего пространственного разрешения – MODIS, находящегося на спутниках TERRA и AQUA. Используемый спутниковый продукт отражает по классификации НАСА распределение площадей трех компонентов (древесная растительность, травянистая растительность, открытая почва) в пикселе MODIS с пространственным разрешением 500 м и позволяет рассчитать покрытую лесом площадь для территории любого размера. Сравнение результатов обработки данных MODIS с данными Государственного учета лесного фонда по лесхозам, проведенное Д.В. Ершовым (2007), показал, что материалы дистанционного зондирования обеспечивают надежные оценки доли древесной растительности в растительном покрове ( $R^2 = 0.70$ ). Однако четко просматривается недооценка покрытых лесом площадей по данным MODIS для территорий с высокими показателями лесистости (более 70%).

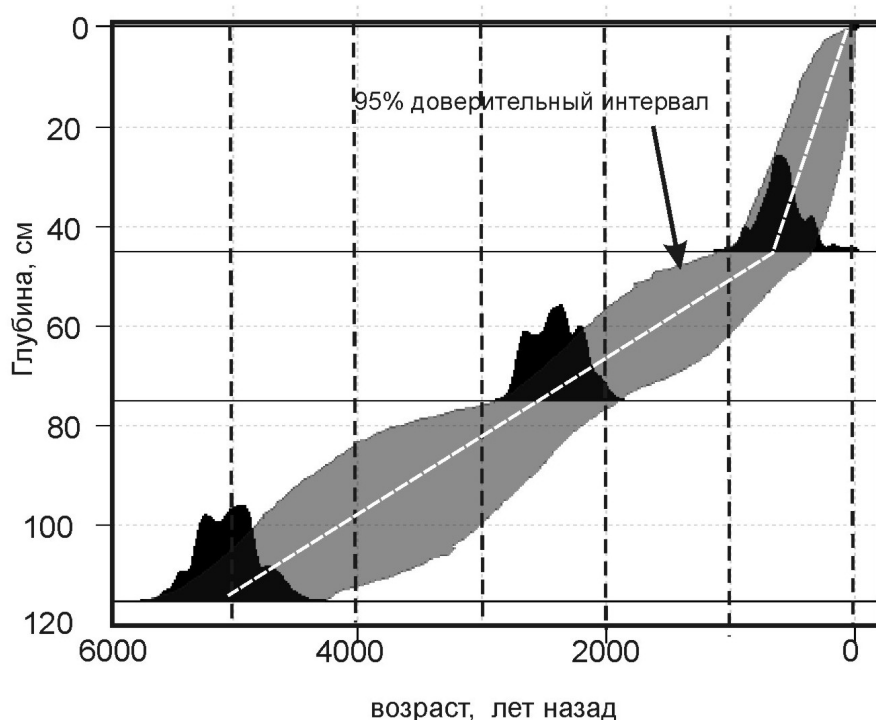
Для характеристики лесистости различных типов ландшафтов в настоящее время

были выполнены ее оценки по спутниковым данным MODIS вокруг 985 точек (были взяты те же точки, для которых собраны современные спорово-пыльцевые спектры) в радиусе 20 км. Расстояние в 20 км примерно соответствует размеру территории, с которой поступает пыльца в небольшие болота и озера, наиболее частые объекты при спорово-пыльцевом анализе (Bradshaw & Webb, 1985), и даже в крупные озера около 60% пыльцы заносится с расстояния не более 25 км от береговой линии (Hellman et al., 2008). Оценки лесистости для Сибири и Северной Азии, выполненные П.Е. Тарасовым с соавторами (Tarasov et al., 2007) по данным спорово-пыльцевого анализа и дистанционного зондирования, показали высокие коэффициенты корреляции между рассчитанными и реальными показателями лесистости в тех же точках, если для реконструкции была взята территория  $21 \times 21$  км вокруг каждой точки. Таким образом, мы можем использовать этот удачный опыт для исследования древесной растительности в Европе.

**Таблица.** Радиоуглеродные датировки образцов торфа болота Подкосьюмово

**Table.** Radiocarbon age of samples from Podkosmovo peatland

Лабораторный номер, ИГ РАН	Глубина (см)	Материал для датирования	Радиоуглеродный возраст, лет назад	Калиброванный возраст, лет назад (1 sd)
3851	45–50	торф	$607 \pm 85$	$598 \pm 80$
3852	75–80	торф	$2345 \pm 75$	$2407 \pm 70$
3855	110–120	торф	$4405 \pm 80$	$5042 \pm 80$



**Рис. 2.** Модель возраст-глубина для разреза болота Подкосьюмово.

**Fig. 2.** Age-depth model for peat core of the peatland Podkosmovo.

**АНАЛОГОВЫЙ МЕТОД ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ.** Изменения лесистости тестовых территорий в голоцене были реконструированы при помощи так называемого «метода лучших аналогов». Математический аппарат метода, впервые предложенного Оверпеком с соавторами (Overpeck et al., 1985), подробно описан в публикациях (Guiot, 1990; Nakagawa et al., 2002). Основные принципы этого метода заключаются в следующем. (1) Производится сравнение ископаемых спорово-пыльцевых спектров с современными спектрами из имеющейся базы данных. В качестве меры сходства используется квадратный корень евклидова расстояния (Overpeck et al., 1985): два спектра признаются аналогами, если этот показатель ниже принятого порогового значения  $T$ . (2) Для каждого ископаемого спектра находится  $N$  (от 3 до 10) наиболее близких современных спектров («лучших аналогов»). (3) Для каждой точки, откуда был взят современный спектр, определены интересующие нас характеристики (температуры, осадки, лесистость и т.п.). Реконструированная величина находится как взвешенное среднее этого параметра из  $N$  «лучших аналогов».

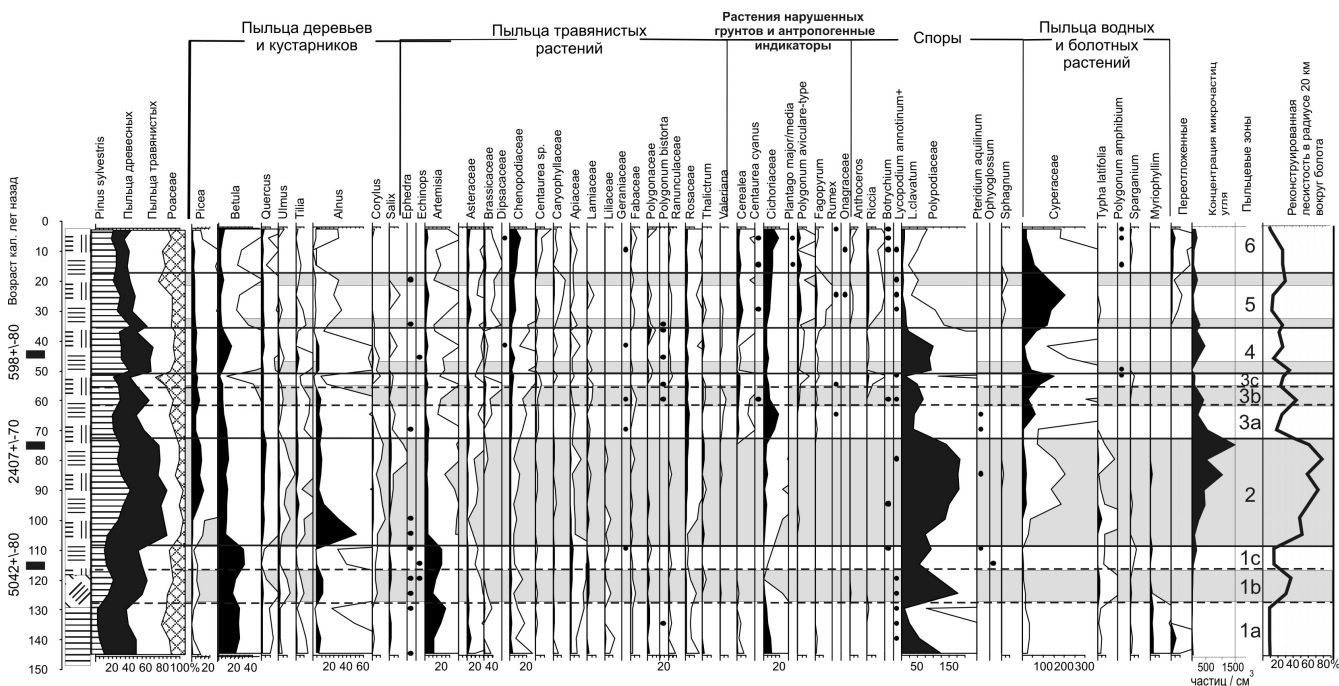
В представленной работе мы приняли пороговое значение  $T = 0.4$  и использовали  $N = 8$

спектров аналогов. Все расчеты выполнены в программе Polygon 2.2.4.

Для оценки точности реконструкции величины покрытых лесом площадей аналоговым методом была проведена перекрестная проверка. Для этого каждый современный спорово-пыльцевой спектр последовательно исключался из базы данных и использовался, как ископаемый спектр для реконструкции лесистости, затем полученная величина сравнивалась со значением лесистости, определенным по данным MODIS в этой точке. Результаты теста показали довольно хорошую корреляцию между величинами лесистости (рис. 3), определенными при помощи аналогового метода на основе современных спорово-пыльцевых спектров и измеренными по спутниковым данным MODIS (коэффициент детерминации  $R^2 = 0.57$ , стандартная ошибка  $SE = 10.8\%$ ). Подобная точность, хотя и не является высокой, но вполне достаточна для палеогеографических реконструкций.

### Результаты и обсуждение

Данные спорово-пыльцевого анализа болота Подкосьмово, подсчеты микрочастиц угля в разрезе и реконструкции лесистости дают нам возможность рассмотреть историю лесной растительности и взаимодействия человека и окружающей среды на территории музея-заповедника «Куликово поле» в среднем и позднем голоцене.



**Рис. 3.** Спорово-пыльцевая диаграмма болота Подкосьмово, концентрация микрочастиц угля и реконструкция лесистости в радиусе 20 км вокруг болота.

**Fig. 3.** Pollen diagram, micro-charcoal concentration for peat core of the peatland Podkosmovo and reconstruction of woodland coverage in 20 km around the site.

Состав и соотношение основных компонентов спорово-пыльцевых спектров нижней части разреза болота Подкосьмово (пыльцевая зона 1, рис. 3) отражают распространение степной растительности в конце атлантического и начале суббореального периодов голоцена (7000–6000 кал. лет назад и 5000–4500 кал. лет назад). Широкое развитие степных сообществ с участием полыней, злаков и маревых было реконструировано не только на основе результатов спорово-пыльцевого анализа болота Подкосьмово, но и по данным ранее изученного разреза Большеберезовского болота (Novenko et al., 2012), расположенного на противоположном берегу р. Непрядвы в 2 км от изучаемого болота, а также по данным других разрезов на территории музея-заповедника «Куликово поле» (Novenko et al., 2009). Согласно выполненным реконструкциям доля древесной растительности в радиусе 20 км от болота Подкосьмово не превышала 10%, что типично для современной степной зоны. В период 6000–5000 кал. лет назад участки сосново-березовых лесов с примесью широколиственных пород, занимающих наиболее благоприятные местообитания в долине реки и в балках, и пойменные черноольшатники расширили свои площади. Лесистость района Куликова поля возрастала до 20–25%.

Результаты многолетних исследований современных и погребенных почв Куликова поля (Александровский, Чичагова, 1998) также свидетельствуют о существовании степных ландшафтов в среднем голоцене. В почвенных профилях в ряде случаев фиксируются второй гумусовый горизонт, унаследованный от среднеголоценового чернозема. Радиоуглеродные даты, полученные для этого гумусового горизонта, лежат в интервале от 7000 до 5000 лет назад.

Заметные изменения в растительности произошли в интервале 4500–2400 кал. лет назад (пыльцевая зона 2, рис. 3), когда широкое распространение в бассейне Верхнего Дона получили сосновые леса с примесью дуба, липы, вяза и ольхи. Луговые степи сохранялись преимущественно на сухих склонах и хорошо дренируемых водоразделах. Лесистость территории составляла 30–40%, и к 2700 кал. лет назад достигала 45%, что подтверждает наши выводы о существовании лесостепного ландшафта на территории Куликова поля в суббореале.

Важной особенностью горизонта торфяной залежи болота Подкосьмово, сформировавшейся в суббореальном периоде голоцена, является

высокое содержание микрочастиц угля, количество которых возрастает на порядок по сравнению с нижележащими горизонтами торфа. Рост содержания угля в торфе может рассматриваться, как индикатор увеличения числа пожаров на окружающей территории, в том числе пожаров, вызванных деятельностью человека (Power et al., 2008). Помимо увеличения интенсивности пожаров на поступление углистых частиц в породу непосредственно зависит от типа растительности в регионе (Patterson et al., 1987). Концентрация микрочастиц угля в нижней части торфяной залежи, сформировавшейся в период 7000–4500 кал. лет назад, когда на территории Куликова поля существовала безлесная степная растительность, составляет 50–100 частиц/см<sup>3</sup>. Увеличение концентрации угля до 500–1500 частиц/см<sup>3</sup> совпадает со временем экспансии в бассейн Верхнего Дона сосновых лесов, сгоревшая древесина которых послужила источником микрочастиц угля, определенных потом в препаратах. Сопоставление кривых концентрации микрочастиц угля и содержания пыльцы сосны показывает явные синхронные изменения этих двух кривых, что подтверждает гипотезу об увеличении числа пожаров в период распространения сосновых лесов, которые наиболее подвержены пожарам (Фуряев, 1986). Однако, высокая концентрация микрочастиц угля (свыше 1000 частиц/см<sup>3</sup>) на глубине 90–80 см (2700–2400 кал. лет назад) не может объясняться только сменой типа растительности с травянистой на древесную, и, очевидно, обусловлена большим количеством пожаров на территории, прилегающей к болоту Подкосьмово.

По историко-археологическим материалам установлены несколько этапов освоения территории бассейна Верхнего Дона, а, следовательно, и антропогенного воздействия на окружающие ландшафты (Гоняный и др., 2007). Первый этап относится к среднему голоцену, эпохам мезолита – раннего неолита (8000–5500 лет назад). В этот период человек активно использует пойму Дона и его притоков. Как показывают палеогеографические реконструкции, освоение территории на начальном этапе носило локальный характер и практически не оказывало воздействия на окружающую среду. Имеются археологические свидетельства пребывания человека на территории Куликова поля в эпоху бронзы (5500–3200 лет назад), позволяющие допустить существования на изучаемой территории скотоводческого хозяйства, вероятно в

его подвижных формах (Археологическая карта России..., 1999). Поселения этой эпохи приурочены к обширным пойменным массивам и заливным лугам. В спорово-пыльцевых спектрах, относящихся к этому времени, появляются признаки нарушения растительного покрова в результате выпаса скота, и возможно, очагового земледелия. Но как свидетельствуют данные археологических и палеогеографических исследований, периоды освоения территории в бронзовом веке были кратковременными и носили локальный характер (Novenko et al., 2012).

Согласно результатам спорово-пыльцевого анализа заметные и драматические изменения растительного покрова произошли около 2400 кал. лет назад. Доля пыльцы деревьев и кустарников сократилась, в то время как содержание пыльцы представителей рода *Artemisia* и семейств *Poaceae* и *Asteraceae* возросло (см. пыльцевая зона 3, рис. 3), степные сообщества стали доминирующим элементом растительного покрова. Лесистость территории понизилась до 15%. Данные о содержании углистых частиц в торфе демонстрируют, что деградации лесной растительности предшествовал максимальный пик (до 1500 частиц/см<sup>3</sup>) концентрации угля в торфяной залежи. Возможно, климатические изменения сопровождаются неравномерностью режима увлажнения и ростом частоты пожаров.

Смена типа растительности и увеличение числа пожаров около 2400 кал. лет назад могли быть вызваны не только естественными причинами, но и увеличивающейся антропогенной нагрузкой. Это время соответствует раннему железному веку, который продолжался от 3200 до 2000 лет назад. Спорово-пыльцевые спектры содержат пыльцу культурных злаков и гречихи (*Fagopyrum* sp.) а также видов, характерных для нарушенных грунтов и посевов (*Plantago major/media*-type, *Rumex* sp., *Polygonum aviculare*-type, *Centaurea cyanus* L., виды семейства *Onagraceae*, споры *Hepaticae*).

В течение последнего тысячелетия территория Куликова поля неоднократно была заселена и вновь оставлена человеком. В пределах изучаемой территории известно свыше 250 древнерусских памятников, включая городища и могильники, относящиеся к двум этапам активизации освоения региона: конец XII – середина XIII вв. и первая половина XIV – конец XIV вв. (Гоняный и др., 2007). С последней четверти XIV в. и почти до начала XVII в., почти на 200

лет, территория вновь оставляется. Реконструкции лесистости в средние века свидетельствуют о заметном сокращении площади лесов во время обитания территории. В периоды, когда человек покидал территорию Куликова поля, древесная растительность восстанавливала свои позиции, хотя специфика радиоуглеродного датирования не позволяет провести точные корреляции по времени. Спорово-пыльцевые спектры, относящиеся к фазам с более низкой лесистостью, отличаются повышенным содержанием пыльцы культурных злаков и сорных растений. Очень часто пик пыльцы *Cerealia* следует за пиком содержания микрочастиц угля в торфе, что может свидетельствовать о пожарах, вызванных человеческим фактором.

Расчеты величины территории, занятой лесными насаждениями в течение последних четырех столетий, отражают колебания в соотношении древесной и травянистой растительности в бассейне Верхнего Дона. Очень четко прослеживается деградация лесов, начиная с начала XX в. В настоящее время лесистость территории составляет не более 10%.

### Заключение

Реконструкция динамики лесистости территории музея-заповедника «Куликово поле» в среднем и позднем голоцене на основе современных и ископаемых спорово-пыльцевых спектров и данных дистанционного зондирования при помощи аналогового метода палеоэкологических реконструкций показала, что предложенная методика может быть надежным инструментом для восстановления истории лесной растительности и индикации нарушений растительного покрова в результате деятельности человека в доисторическое время.

Высокая биопродуктивность лесостепных ландшафтов бассейна Верхнего Дона делала этот регион очень привлекательным для доисторического человека. Признаки освоения территории прослеживаются в спорово-пыльцевых спектрах и данных о концентрации микрочастиц угля в разрезах на территории Куликова поля уже в эпохи неолита и бронзы, однако влияние антропогенного фактора на растительный покров не было существенным вплоть до последнего тысячелетия. Реконструкции лесистости территории хорошо согласуются с историей ее хозяйственного освоения. Экстенсивное сельское хозяйство во временные интерва-

лы, когда территории была обитаема, приводило к деградации лесной растительности и формированию природно-антропогенных ландшафтов. В периоды, когда человек покидал территорию Куликова поля, лесные сообщества восстанавливали свои позиции.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 15-04-03170.

### Литература

- Александровский А.Л., Чичагова О.А. 1998. Радиоуглеродный возраст палеопочв голоцена в лесостепи Восточной Европы // Почвоведение. №2. С. 1414–1422.
- Археологическая карта России. Тульская область. М.: Изд-во Института археологии РАН, 1999. 304 с.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. 2011. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Т. 8(4). С. 285–302.
- Борисова О.К. 2008. Ландшафтно-климатические изменения в умеренных широтах Северного и Южного полушария за последние 130 000 лет. М.: ГЕОС. 264 с.
- Гоняный М.И., Александровский А.Л., Гласко М.П. 2007. Северная лесостепь бассейна Верхнего Дона времени Куликовской битвы. М.: Изд-во «Унопринт». 208 с.
- Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет (общая палеогеография) / под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2002. 232 с.
- Ершов Д.В. 2007. Методика оценки покрытой лесом площади по спутниковым изображениям спектрорадиометра MODIS среднего пространственного разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Т. 2(4). С. 217–225.
- Новенко Е.Ю., Чепурная А.А. 2015. База данных спорово-пыльцевых спектров территории России и сопредельных стран как инструмент палеоэкологических исследований // Известия РАН, серия географическая. №1. С. 119–128.
- Палеоклиматы и палеоландшафты внутритропического пространства Северной Евразии. Поздний плейстоцен-голоцен. Атлас-монография / под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2009. 120 с.
- Фуряев В.В. 1986. Дистанционные методы оценки состояния и формирования таежных лесов после пожара // Методы дистанционных исследований для решения природоохранительных задач. Новосибирск: Наука. С. 147–159.
- Хотинский Н.А. 1977. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука. 200 с.
- Хотинский Н.А. 1988. История и география Куликова поля. М.: Знание. 64 с.
- Bradshaw R.H.W., Webb T. 1985. Relationships between contemporary pollen and vegetation data from Wisconsin and Michigan, USA // Ecology. Vol. 66. P. 721–737. DOI: 10.2307/1940533
- Broström A., Gaillard M.-J., Ihse M., Odgaard B. 1998. Pollen-landscape relationships in modern analogues of ancient cultural landscapes in southern Sweden – a first step towards quantification of vegetation openness in the past // Vegetation History and Archaeobotany. Vol. 7. P. 189–201.
- Broström A., Sugita S., Gaillard M.-J. 2005. Estimating the spatial scale of pollen dispersal in the cultural landscape of southern Sweden // Holocene. Vol. 15. P. 252–262. DOI: 10.1191/0959683605hl790rp
- Broström A., Nielsen A.B., Gaillard M.-J., Hjelle K., Mazier F., Binney H., Bunting J., Fyfe R., Meltsov V., Poska A., Rasanen S., Soepboer W., von Stedingk H., Sugita S. 2008. Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation: a review // Vegetation History and Archaeobotany. Vol. 17. P. 461–478. DOI: 10.1007/s00334-008-0148-8
- Caseldine C., Fyfe R. 2006. A modelling approach to locating and characterising elm decline/landnam landscapes // Quaternary Science Reviews. Vol. 25. P. 632–644. DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.07.015
- Clark R.L. 1982. Point count estimation of charcoal in pollen preparations and thin sections of sediments // Pollen et Spores. Vol. 24. P. 523–535.
- Davis B.A.S., Zanon M., Collins P., Mauri A., Bakker J., Barboni D., Barthelmes A., Beaudouin C., Bjune A.E., Bozilova E. et al. 2013. The European modern pollen database (EMPD) project // Vegetation History and Archaeobotany. Vol. 22(6). P. 521–530. DOI: 10.1007/s00334-012-0388-5
- Gaillard M.-J., Sugita S., Bunting J., Dearing J., Bittmann F. 2008. Human impact on terrestrial ecosystems, pollen calibration and quantitative reconstruction of past land-cover // Vegetation History and Archaeobotany. Vol. 17. P. 415–418. DOI: 10.1007/s00334-008-0170-x
- Grimm E.C. 1990. TILIA and TILIA GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data // INQUA, Working Group on Data-Handling Methods Newsletter. Vol. 4. P. 5–7.
- Guiot J. 1990. Methodology of the last climatic cycle reconstruction in France from pollen data // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Vol. 80. P. 49–69.
- Hansen M., DeFries R.S., Townshend J.R.G., Carroll M., Dimiceli C., Sohlberg R.A. 2003. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm // Earth Interactions. Vol. 7(10). P. 1–15. DOI: 10.1175/1087-3562(2003)007<0001:GPTCAA>2.0.CO;2
- Hellman S., Gaillard M.-J., Broström A., Sugita S. 2008. The REVEALS model, a new tool to estimate past regional plant abundance from pollen data in large lakes: validation in southern Sweden // Journal of Quaternary Science. Vol. 23. P. 21–42. DOI: 10.1002/jqs.1126
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. 1991. Pollen Analysis. Oxford: Blackwell. 216 p.
- Nakagawa T., Tarasov P., Kotoba N., Gotanda K., Yasuda Y. 2002. Quantitative pollen-based climate reconstruction



- tion in Japan: application to surface and late Quaternary spectra // *Quaternary Science Reviews*. Vol. 21. P. 2099–2113. DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00014-8
- Novenko E.Yu., Glasko M.P., Burova O.V. 2009. Landscape-and-climate dynamics and land use in Late Holocene forest-steppe ecotone of East European Plain (upper Don River Basin case study) // *Quaternary International*. Vol. 203. P. 113–119.
- Novenko E.Yu., Volkova E.M., Glasko M.P., Zukanova I.S. 2012. Palaeoecological evidence for the middle and late Holocene vegetation, climate and land use in the upper Don River basin (Russia) // *Vegetation History and Archaeobotany*. Vol. 21. P. 337–352. DOI: 10.1007/s00334-011-0339-6
- Novenko E.Yu., Eremeeva A.P., Chepurnaya A.A. 2014. Reconstruction of Holocene vegetation, tree cover dynamics and human disturbances in central European Russia, using pollen and satellite data sets // *Vegetation History and Archaeobotany*. Vol. 23. P. 109–119. DOI: 10.1007/s00334-013-0418-y
- Overpeck J.T., Webb T., Prentice I.C. 1985. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of modern analogs // *Quaternary Research*. Vol. 23. P. 87–108. DOI: 10.1016/0033-5894(85)90074-2
- Parnell A.C., Haslett J., Allen J.R.M., Buck C.E., Huntley B. 2008. A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history // *Quaternary Science Reviews*. Vol. 27. P. 1872–1885. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.07.009
- Patterson W.A., Edwards K.J., Maguire D.J. 1987. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire // *Quaternary Science Reviews*. Vol. 6(1). P. 3–23. DOI: 10.1016/0277-3791(87)90012-6
- 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. et al. 2008. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data // *Climate Dynamics*. Vol. 30. P. 887–907. DOI: 10.1007/s00382-007-0334-x
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M. et al. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Years cal BP // *Radiocarbon*. Vol. 55. P. 1869–1887. DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947
- Stockmarr J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis // *Pollen et Spores*. Vol. 13. P. 615–621.
- Sugita S. 2007. Theory of quantitative reconstruction of vegetation. I. Pollen from large sites REVEALS regional vegetation // *Holocene*. Vol. 17. P. 229–241. DOI: 10.1177/0959683607075837
- Sugita S., Gaillard M.-J., Broström A. 1999. Landscape openness and pollen records: a simulation approach // *Holocene*. Vol. 9. P. 409–421. DOI: 10.1191/095968399666429937
- Tarasov P., Williams J.W., Andreev A., Nakagawa T., Bezrukova E., Herzschuh U., Igarashi Y., Müller S., Werner K., Zheng Z. 2007. Satellite- and pollen-based quantitative woody cover reconstructions for northern Asia: Verification and application to late-Quaternary pollen data // *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 264. P. 284–298. DOI: 10.1016/j.epsl.2007.10.007

## References

- Aleksandrovskii A.L., Chichagova O.A. 1998. Radiocarbon age of Holocene paleosoils in the forest-steppe of Eastern Europe. *Eurasian Soil Science* 12: 1414–1422. [In Russian]
- Archeological map of Russia. Tula region. Moscow: Institute of archeological RAS, 1999. 304 p.
- Bartalev S.A., Egorov B.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Lupyay E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A. 2011. Satellite mapping of the vegetation cover of Russia by data of the spectroradiometer MODIS. *Modern problems of remote sensing of the earth from space* 8: 285–302. [In Russian]
- Borisova O.K. 2008. *Landscape and climatic changes in temperate latitude of Northern Hemisphere during the last 130 years*. Moscow: GEOS, 2008. 264 p.
- Bradshaw R.H.W., Webb T. 1985. Relationships between contemporary pollen and vegetation data from Wisconsin and Michigan, USA. *Ecology* 66: 721–737. DOI: 10.2307/1940533
- Broström A., Gaillard M.-J., Ihse M., Odgaard B. 1998. Pollen-landscape relationships in modern analogues of ancient cultural landscapes in southern Sweden – a first step towards quantification of vegetation openness in the past. *Vegetation History and Archaeobotany* 7: 189–201.
- Broström A., Nielsen A.B., Gaillard M.-J., Hjelle K., Mazier F., Binney H., Bunting J., Fyfe R., Meltsov V., Poska A., Rasanen S., Soepboer W., von Stedingk H., Sugita S. 2008. Pollen productivity estimates of key European plant taxa for quantitative reconstruction of past vegetation: a review. *Vegetation History and Archaeobotany* 17: 461–478. DOI: 10.1007/s00334-008-0148-8
- Broström A., Sugita S., Gaillard M.-J. 2005. Estimating the spatial scale of pollen dispersal in the cultural landscape of southern Sweden. *Holocene* 15: 252–262. DOI: 10.1191/0959683605hl790rp
- Caseldine C., Fyfe R. 2006. A modelling approach to locating and characterising elm decline/landnam landscapes. *Quaternary Science Reviews* 25: 632–644. DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.07.015
- Clark R.L. 1982. Point count estimation of charcoal in pollen preparations and thin sections of sediments. *Pollen et Spores* 24: 523–535.
- Davis B.A.S., Zanon M., Collins P., Mauri A., Bakker J., Barboni D., Barthelmes A., Beaudouin C., Bjune A.E., Bozilova E. et al. 2013. The European modern pollen database (EMPD) project. *Vegetation History and Archaeobotany* 22(6): 521–530. DOI: 10.1007/s00334-012-0388-5
- Ershov D.V. 2007. Methods of assessment of area covered by forests using satellite imaging MODIS of moderate

- spatial resolution. *Modern problems of remote sensing of the earth from space 2*: 217–225. [In Russian]
- Furyaev V.V. 1986. Remote methods for assessing the condition and formation of taiga forests after a fire. In: *Methods of remote research for the solution of natural history problems*. Novosibirsk: Nauka. P. 147–159. [In Russian]
- Gaillard M.-J., Sugita S., Bunting J., Dearing J., Bittmann F. 2008. Human impact on terrestrial ecosystems, pollen calibration and quantitative reconstruction of past land-cover. *Vegetation History and Archaeobotany* 17: 415–418. DOI: 10.1007/s00334-008-0170-x
- Gonyanyi M.I., Aleksandrovskii A.L., Glasko M.P. 2007. *Northern forest-steppe of the Upper Don River basin at the time of the Kulikovo Battle*. Moscow: State Historical Museum-press. 208 p. [In Russian]
- Grimm E.C. 1990. TILIA and TILIA GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data. *INQUA, Working Group on Data-Handling Methods Newsletter* 4: 5–7.
- Guiot J. 1990. Methodology of the last climatic cycle reconstruction in France from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 80: 49–69.
- Hansen M., DeFries R.S., Townshend J.R.G., Carroll M., Dimiceli C., Sohlberg R.A. 2003. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm». *Earth Interactions* 7(10): 1–15. DOI: 10.1175/1087-3562(2003)007<0001:GPTCAA>2.0.CO;2
- Hellman S., Gaillard M.-J., Broström A., Sugita S. 2008. The REVEALS model, a new tool to estimate past regional plant abundance from pollen data in large lakes: validation in southern Sweden. *Journal of Quaternary Science* 23: 21–42. DOI: 10.1002/jqs.1126
- Khotinsky N.A. 1988. *The history and geography of Kulikovo pole*. Moscow: Znanie. 64 p. [In Russian]
- Khotinsky N.A. 1977. *The Holocene of Northern Eurasia*. Moscow: Nauka. 200 p. [In Russian]
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. 1991. *Pollen Analysis*. Oxford: Blackwell. 216 p.
- Nakagawa T., Tarasov P., Kotoba N., Gotanda K., Yasuda Y. 2002. Quantitative pollen-based climate reconstruction in Japan: application to surface and late Quaternary spectra. *Quaternary Science Reviews* 21: 2099–2113. DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00014-8
- Novenko E.Yu., Chepurnaya A.A. 2015. Pollen and spores database from Russia and adjacent countries as a tool for palaeoecological studies. *Bulletin of RAS, series geography* 1: 119–128.
- Novenko E.Yu., Glasko M.P., Burova O.V. 2009. Landscape-and-climate dynamics and land use in Late Holocene forest-steppe ecotone of East European Plain (upper Don River Basin case study). *Quaternary International* 203: 113–119.
- Novenko E.Yu., Volkova E.M. Glasko M.P. Zuganova I.S. 2012. Palaeoecological evidence for the middle and late Holocene vegetation, climate and land use in the upper Don River basin (Russia). *Vegetation History and Archaeobotany* 21: 337–352. DOI: 10.1007/s00334-011-0339-6
- Novenko E.Yu., Ereemeeva A.P., Chepurnaya A.A. 2014. Reconstruction of Holocene vegetation, tree cover dynamics and human disturbances in central European Russia, using pollen and satellite data sets. *Vegetation History and Archaeobotany* 23: 109–119. DOI: 10.1007/s00334-013-0418-y
- Overpeck J.T., Webb T., Prentice I.C. 1985. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of modern analogs. *Quaternary Research* 23: 87–108. DOI: 10.1016/0033-5894(85)90074-2
- Parnell A.C., Haslett J., Allen J.R.M., Buck C.E., Huntley B. 2008. A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history. *Quaternary Science Reviews* 27: 1872–1885. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.07.009
- Patterson W.A., Edwards K.J., Maguire D.J. 1987. Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews* 6(1): 3–23. DOI: 10.1016/0277-3791(87)90012-6
- 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. et al. 2008. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Climate Dynamics* 30: 887–907. DOI: 10.1007/s00382-007-0334-x
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M. et al. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1869–1887. DOI: 10.2458/azu\_js\_rc.55.16947
- Stockmarr J. 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13: 615–621.
- Sugita S. 2007. Theory of quantitative reconstruction of vegetation. I. Pollen from large sites REVEALS regional vegetation. *Holocene* 17: 229–241. DOI: 10.1177/0959683607075837
- Sugita S., Gaillard M.-J., Broström A. 1999. Landscape openness and pollen records: a simulation approach. *Holocene* 9: 409–421. DOI: 10.1191/095968399666429937
- Tarasov P., Williams J.W., Andreev A., Nakagawa T., Bezrukova E., Herzschuh U., Igarashi Y., Müller S., Werner K., Zheng Z. 2007. Satellite- and pollen-based quantitative woody cover reconstructions for northern Asia: Verification and application to late-Quaternary pollen data. *Earth and Planetary Science Letters* 264: 284–298. DOI: 10.1016/j.epsl.2007.10.007
- Velichko A.A. (Ed.). 2002. Dynamics of landscape components and inner sea basins of Northern Eurasia during the last 130 000 years. Moscow: GEOS. 232 p. [In Russian]
- Velichko A.A. (Ed.). 2009. *Paleoclimate and paleo-landscapes of extratropic area of Northern Eurasia. The Late Pleistocene-Holocene*. Moscow: GEOS. 120 p. [In Russian]

## RECONSTRUCTION OF ARBOREAL VEGETATION DYNAMICS OF THE AREA OF MUSEUM-RESERVE KULIKOVO POLE IN THE MIDDLE AND LATE HOLOCENE

Elena Yu. Novenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Geography RAS, Russia*

*e-mail: lenanov@mail.ru*

The paper presents reconstructions of vegetation and forest coverage dynamics in the area of the State Military-Historical and Natural Museum-Reserve «Kulikovo Pole» (Upper Don River basin) in the middle and late Holocene, based on modern and fossil pollen assemblages and remote sensing data (MODIS) using the «the Best Modern Analogue» technique for paleoecological studies. The data obtained showed that in the study area steppe vegetation was widespread in the period 7000–4500 cal. (calendar) years BP, forest coverage was 10–20%. Cooling and moistening of the climate around 4500 cal. years BP encouraged a shift of the forest-steppe boundary to the South; forest-steppe vegetation with the participation of pine and broad-leaved forests of *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus* and *Alnus* occupied the Upper Don River basin. Meadow steppe plant communities persisted mostly on dry slopes and well-drained watersheds. The forest coverage increased to 30–40%, and around 2700 cal. years BP reached 45%. Significant changes in vegetation and reduction of the area covered by forest (to 15%) occurred at 2400 cal. years BP and were caused mainly by the anthropogenic factor. An extensive agriculture during the periods of human occupation resulted in a decrease in forest coverage, when the territory was abandoned forests recovered their areas.

**Key words:** Holocene, Museum-Reserve «Kulikovo pole», pollen analysis, remote sensing data MODIS