

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М.В. ЛОМОНОСОВА

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Лавренов Никита Геннадьевич

**Позднеголоценовая динамика растительности
бассейна верхнего течения Днепра**

1.5.15 – Экология

1.5.9 – Ботаника

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:

к.б.н., Ершова Екатерина Георгиевна

Москва — 2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАЛИНОЛОГИИ	13
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ	20
2.1. ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ	20
2.2. КЛИМАТ	22
2.3. БИОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ	22
2.4. ЛАНДШАФТНО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ.....	26
2.5. АРХЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ.....	27
2.6. ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ В ГОЛОЦЕНЕ....	30
2.7. ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ДРЕВНЕГО ПРОИЗВОДЯЩЕГО ХОЗЯЙСТВА В РЕГИОНЕ	37
ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	42
3.1. ВЫБОР ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	42
3.2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	44
3.3. ОТБОР ПРОБ.....	52
3.4. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	52
3.5. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ.....	54
ГЛАВА 4. ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВАЯ ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ ДНЕПРА	56
4.1. ПАЛЕОУСЛО Р. КАТЫНКИ.....	56
4.2. УРОЧИЩЕ РАДОМСКИЙ МОХ	61
4.3. БЕЗЫМЯННОЕ БОЛОТО ОКОЛО АКАТОВСКОГО ОЗЕРА	72
4.4. БОЛОТО МШАРЫ (УРОЧИЩЕ АКСЁНИНСКИЙ МОХ, ИСТОК ДНЕПРА)	79
4.5 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЕЗЫМЯННОГО БОЛОТА ОКОЛО ДЕРЕВНИ КРАСНЫЙ ХОЛМ ПОД ВЯЗЬМОЙ	88

ГЛАВА 5. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ДИНАМИКИ БИОМОВ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	95
ГЛАВА 6. ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛУЧЕННЫХ ПЫЛЬЦЕВЫХ СПЕКТРОВ	98
ГЛАВА 7. РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАЛЕОАРЕАЛА ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ (<i>PICEA ABIES</i> L.) И ГРАНИЦЫ ПРИРОДНЫХ ЗОН.....	102
ГЛАВА 8. ДИНАМИКА АРЕАЛА ГРАБА ОБЫКНОВЕННОГО (<i>CARPINUS BETULUS</i> L.) В ГОЛОЦЕНЕ.....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
ВЫВОДЫ	110
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	112
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	131

Введение

Актуальность исследования и разработанность темы. Спорово-пыльцевой, или палинологический, анализ — один из ключевых методов реконструкции растительного покрова и, как следствие, экосистем прошлого. В современной науке этот метод служит основой в комплексных археологических и палеогеографических исследованиях (Birks, Berglund, 2018; Reitz, Shackley, 2012). Реконструкция динамики экосистем, как правило, становится одним из основополагающих этапов междисциплинарных проектов (Еремеев, Дзюба, 2010; Yang, Hu, 2019; Mercuri et al., 2010 и др.; Кочубей, Еремеев, Летюка, 2022; Гольева, Сыроватко, 2022). Данные спорово-пыльцевого анализа, опубликованные в открытом доступе в специализированных базах данных, также позволяют проводить исследования динамики растительности на большом пространственном и временном разрешении. Одним из последних ярких примеров такого исследования можно считать реконструкцию динамики западноевропейских лесов на протяжении голоцена (Roberts et al., 2018; Githumbi et al., 2022).

Работы по реконструкции растительного покрова лесной зоны на протяжении всего голоцена известны для многих регионов Европейской части России, в том числе для соседних со Смоленской областей: Псковской (Nosova et al., 2019; Tarasov et al., 2019; 2022; Kittel et al., 2020), Тверской (Novenko et al., 2009; Mazei, Tsyganov, Bobrovsky et al., 2020; Mazei et al., 2023; Nosova et al., 2024) и Московской (Kremenetski et al., 2000; Гунова и др., 2001; Miagkaia, Ershova, 2020), а также для зоны широколиственных лесов (Тульской и Рязанской областей) (Novenko et al., 2019). Голоценовая динамика растительности на территории Республики Беларусь исследована достаточно подробно (Зерницкая и др., 2001; Еловичева и др., 2004; Зерницкая, 2022): в международных базах данных встречается 48 спорово-пыльцевых диаграмм, покрывающих разные временные интервалы голоцена, включая самые ранние (на основе данных из базы Neotoma).

В то же время для Смоленской области известны лишь работы двух коллективов. Н. А. Березина в соавторстве с А. А. Гольевой реконструировали динамику растительности на основе спорово-пыльцевого анализа водно-болотных отложений двух объектов национального парка «Смоленское поозерье» (Березина, Гольева, 2002; Березина, 2003). Хронологически эти реконструкции охватывают почти весь голоцен, а результаты, экстраполируемые на большой географический масштаб, не сопровождаются спорово-пыльцевыми диаграммами и полными данными, а хронология построена по двум радиоуглеродным датам. Другие работы выполнены М. А. Бронниковой с коллегами в археологическом комплексе «Гнёздово» (Sedov et al., 1999; Bronnikova et al., 2003; Бронникова, Успенская, 2007). Построенные в этих исследованиях реконструкции динамики растительного покрова датированы более подробно, но они отражают лишь локальную динамику экосистем за последние 3000 лет. Полноголоценовые реконструкции динамики экосистем выполнены коллективом П. Е. Тарасова по серии объектов, расположенных на границе Смоленской и Псковской областей. Эти данные позволяют установить общие закономерности развития экосистем верховьев Западной Двины (Tarasov et al. 2019; 2022). Для верховьев Днепра подобных исследований известно не было.

Район исследований также представляет большой интерес со стороны историков и археологов. По верхнему течению Днепра проходил путь из варяг в греки — более северный отрезок этого древнего торгового пути изучен с применением как археологических, так и естественнонаучных методов (Еремеев, Дзюба, 2010), — на нём расположен комплекс археологических памятников верхнеднепровской культуры, раннеславянские памятники, поселения “эпохи викингов” и периода становления древнерусского государства, которому принадлежит известный археологический комплекс “Гнёздово” (Гнездовский археологический комплекс..., 2018). Недавние исследования выявили следы сельскохозяйственного освоения долины Днепра в дославянское время, однако точное время масштабных антропогенных преобразований остается дискуссионным (Ершова, Кренке, 2018; Кренке и др., 2021; Кренке и др., 2022).

Цель и задачи исследования. Целью исследования было реконструировать динамику экосистем российской части бассейна верховьев Днепра и оценить вклад антропогенного и климатического факторов в формирование растительности региона. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- изучить специализированные базы данных спорово-пыльцевого анализа, литературные источники и современные космические снимки, а также базы археологических данных и археологическую литературу для выбора объектов исследования;
- провести спорово-пыльцевой анализ отложений выбранных объектов;
- привязать динамику экосистем к абсолютной хронологической шкале с помощью AMS-радиоуглеродного датирования и математического моделирования на основе байесовских вычислений;
- выделить в динамике растительности и ландшафтов климатический и антропогенный сигналы;
- провести сравнительный анализ динамики растительности и ландшафтов на разных отрезках верховьев Днепра и сопредельных территорий.

Предметом исследования стала динамика экосистем российского участка верховьев Днепра. **Объектами исследования** были выбраны палеостарица и четыре болота из пяти разных районов Смоленской области: Краснинского, Демидовского, Сычëвского, Вяземского и Смоленского. В Краснинском районе был отобран керн торфяных отложений из безымянного болота близ Акатовского озера мощностью 3 м, в Демидовском районе — из болота Радомский мох мощностью 1,83 м, в Сычëвском районе — из болота Мшары, из которого вытекает р. Днепр, 3,46 м, в Вяземском районе — из безымянного болота близ д. Красный Холм мощностью 1,02 см. В Смоленском районе была отобрана серия органических отложений из палеоруслу реки Катynки, близ её впадения в Днепр. Всего было проанализировано более 250 образцов. Два из исследованных объектов в строгом смысле не принадлежат бассейну Днепра: болото в Вяземском районе относится к бассейну Десны (и *sensu stricto* — к бассейну Волги), а в Демидовском — к бассейну Западной Двины. Однако их географическое положение позволяют

экстраполировать результаты спорово-пыльцевого анализа отложений из объектов на Верховья Днепра.

Методы исследования. Для отбора кернов использовали стандартное оборудование — русский торфяной бур В. Н. Сукачёва. Описание керна и его разделение на образцы производили в полевых условиях. Подготовка образцов к спорово-пыльцевому анализу происходила по стандартной международной методике (Moore et al., 1991) с незначительными модификациями. Датирование образцов происходило на AMS-радиоуглеродном спектрометре. Калибровка радиоуглеродных дат выполнена по шкалам IntCal 20 (Reimer, 2020), разработанной для материковых отложений северного полушария. Модели роста отложений построены с помощью последней веб-версии ПО OxCal, визуализация данных выполнена в специализированном ПО TiliaIT, TiliaView (Grimm, 1988) и C2 (Juggins, 2007) и в rBacon (Blaauw, Christen, 2011).

Степень достоверности. Достоверность полученных результатов обеспечена использованием принятого в области исследования оборудования, высокоточных методов датирования, последних версий программного обеспечения и калибровочных кривых, а также следованием лабораторным протоколам ведущих мировых научных организаций и коллективов в области палеоэкологии и экосистемной археологии.

Личный вклад соискателя. Соискатель на учёную степень кандидата наук принимал участие в четырёх экспедициях в Смоленскую область, в результате которых были отобраны образцы для диссертационного исследования и для проекта по реконструкции палеосреды археологических памятников исследуемого региона. Образцы из безымянного болота близ д. Красный Холм были предоставлены доцентом кафедры экологии и географии растений, научным руководителем представляемого к защите диссертационного исследования Е. Г. Ершовой. Соискатель лично подготовил для спорово-пыльцевого анализа и непосредственно проанализировал образцы водно-болотных отложений, анализ образцов, отобранных в палеорусле р. Катynки, выполнила Е. Г. Ершова. AMS-радиоуглеродное датирование было выполнено в Оттавском университете (А.Е.

Lalonde AMS Laboratory, University of Ottawa), ботанический анализ макроостатков торфа — сотрудницей кафедры экологии и географии растений биологического факультета МГУ М. М. Журавковой, анализ потерь при прокаливании — студентами биологического факультета в рамках прохождения курса по палеоэкологии на кафедре экологии и географии растений был выполнен. Построение математических моделей, статистический анализ данных и визуализация результатов выполнены лично соискателем. Несколько образцов колонки из болота под Вязьмой подготовил и проанализировал студент кафедры экологии и географии растений биологического факультета МГУ Валерий Пименов.

В публикации [1] личный вклад соискателя составил 0.15 из 0.16 п.л.; в публикации [2] — 0.06 п.л. из 0.73 п.л., в публикации [3] — 0.21 из 0.28 п.л.

Научная новизна. Полученные результаты позволяют пролить свет на динамику экосистем ранее малоизученного региона. Исследование выполнено в соответствии с современными мировыми стандартами, а часть данных опубликована в международных базах споро-пыльцевых данных EPD и Neotoma. Это обеспечивает возможность дальнейшего использования результатов для реконструкции динамики экосистем, биомов, палеоклиматов и палеоареалов растений в рамках крупномасштабных географических исследований с более высокой точностью и разрешением.

Кроме того, представленное к защите исследование впервые раскрывает влияние климатических и антропогенных факторов на позднеголоценовую динамику экосистем бассейна верховьев Днепра. В ходе работы выявлен период формирования коренных растительных сообществ региона. Впервые с применением естественно-научных методов были зарегистрированы и датированы этапы антропогенного преобразования природных экосистем.

Теоретическая и практическая значимость. Работа была инициирована в рамках совместного со Смоленской археологической экспедицией ИА РАН проекта по экосистемной археологии (под руководством Н. А. Кренке). Полученные данные могут быть в дальнейшем использованы в метааналитических

работах по реконструкциям палеоклимата, биомов и экосистем Восточной Европы и выявлению волн заселения верховьев Днепра. В работе впервые для региона уточнены сроки формирования современной природной зоны смешанных елово-широколиственных лесов, а также указывает на возможное наличие археологических памятников бронзового и раннего железного веков близ двух объектов исследования. Полученные данные могут быть также полезны для разработки природоохранных мер и практик предупреждения последствий глобального изменения климата.

Апробация работы.

Полученные результаты были отмечены премией Международного общества палинологов (The Palynological Society) Vaughn Bryant Award (2021), а также изложены на следующих конференциях:

- Международная конференция 55rd Annual Meeting of the AASP-The Palynological Society. Стендовый доклад Quantitative pollen-based climate reconstructions for the southern forest zone of European Russia. Монпелье, Франция. 26–28 июня 2024 г.
- Международная научная конференция NECLIME 12th Workshop of the Working Group on Palynology. Устный доклад Late Holocene landscape dynamics and human impact on it in Smolensk Region (Western Russia). Анталья, Турция. 18–10 октября 2023 г.
- Международная научная конференция 53rd Annual Meeting of the AASP-The Palynological Society. Стендовый доклад “Late Holocene vegetation dynamics in Western Russia (Smolensk Region)” с устной презентацией (онлайн). 9-13 августа 2021 г.
- VI Международная научная конференция «Экология древних и традиционных обществ». Устный доклад “Влияние человека на ландшафт Смоленской области в последние 2000 лет”. Тюмень, Россия. 2-6 ноября 2020 г.

- Международная конференция 26th EAA Virtual Annual Meeting. Стендовый доклад Human Impact on Landscape in Smolensk Region (Western Russia) с устной презентацией (онлайн). Будапешт, Венгрия. 26-30 августа 2020 г.
- Международный конгресс European Geosciences Union General Assembly 2020. Стендовый доклад Vegetation history of Western Russia (Upper Dnieper, Smolensk region): Climate and human impact on landscape in last two millennia (онлайн). Вена, Австрия. 3-8 мая 2020 г.
- Конференция с международным участием “Динамика экосистем в голоцене (к 100-летию Л. Г. Динесмана)”. Устный доклад “Палеогеографическое изучение археологических памятников в бассейне р. Катынки (правый приток Днепра)”. Москва, Россия. 11–15 ноября 2019 г.

Публикации по теме исследования

Статьи в рецензируемых научных журналах, входящие в мировые базы данных научных публикаций (Web of Science и/или Scopus):

- [1] **Lavrenov N.**, Ershova E., Pimenov V. 71. Mshary Mire (Source of the Dnieper River, Western Russia) // Grana. 2024. V.63. №2. P. 185–187. DOI:10.1080/00173134.2024.2347651. Q3, SJR 0.360. Личный вклад соискателя 0.15 п.л. из 0.16 п.л.
- [2] Кренке Н. А., Ершова Е. Г., Ершов И. Н., Раева В. А., Ганичев К. А., Александровский А. Л., Кулькова М. А., Киттель П., Певзнер М. М., Пономаренко Е. В., **Лавренов Н. Г.**, Лавриков М. В., Чаукин С. Н. Радиоуглеродное датирование археологических и природных объектов Смоленщины в 2014–2021 гг. // Краткие сообщения Института археологии. 2022. Т. 267. С. 330–344. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.267.320-344. К1, ИФ РИНЦ 0,842. Личный вклад соискателя 0.17 п.л. из 0.73 п.л.
- [3] **Лавренов Н.Г.**, Ершова Е.Г., Кренке Н.А., Журавкова М.М. Ландшафты Смоленской области как следствие древней антропогенной деятельности: Палеоэкологическое исследование болота Радомский Мох // Поволжская археология. 2021. Т.38. №4. С. 235–246. DOI: 10.24852/ra2021.4.38.235.246. К1, ИФ РИНЦ 0,618. Личный вклад соискателя 0.21 п.л. из 0.28 п.л.

Иные:

- Ershova E.G., Krenke N.A., Kittel P., **Lavrenov N.G.** Archaeological sites in the Katynka river basin (Smolensk Region): Paleogeographic study // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 438. P. 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/438/1/012007. Q3, SJR 0.199.
- Лавренов Н.Г., Ершова Е.Г., Журавкова М.М., Кренке Н.А. Влияние человека на ландшафт Смоленской области в последние 2000 лет // Экология древних и традиционных обществ. Материалы VI международной научной конференции. 2020. Тюмень: ТюмНЦ СО РАН. Вып. 6. С. 115–117.
- Ершова Е.Г., Кренке Н.А., Киттель П., Лавренов Н.Г. Палеогеографическое изучение археологических памятников в бассейне р. Катынки (правый приток Днепра) // Динамика экосистем в голоцене. Конференция посвященная 110-летию со дня рождения проф. Л.Г. Динесмана. Материалы конференции. 2019. М: Ин-т географии РАН. С. 98–100.

Положения, выносимые на защиту:

1. Формирование коренных экосистем — смешанных елово-широколиственных лесов — в Смоленской области относится к позднему голоцену. На севере региона бореальные элементы внедряются в неморальные сообщества 4200–4000 л. н., на юго-востоке — около 2500–1900 л. н., что подтверждается существенным увеличением доли ели в пыльцевых спектрах и результатами количественной реконструкции биомов.
2. В позднеголоценовых пыльцевых спектрах бассейна верхнего течения Днепра зафиксированы 5 волн антропогенного воздействия: 4200–3500 л. н., 2900–2800 л. н., 2300–2000 л. н., 1700–1150 л. н. и с 900 л. н. по настоящее время. Периоды подтверждаются пиками пыльцы культурных злаков, а также наличием признаков подсечного земледелия и индикаторов выпаса и осветления в пыльцевых спектрах. Полученные результаты согласуются с археологическими данными и дополняют их.
3. Антропогенное преобразование ландшафтов на западе Смоленской области шло непрерывно с бронзового века, тогда как на востоке наблюдается длительный период ослабления антропогенной нагрузки на экосистемы между железным веком и ранним Средневековьем. Это различие подтверждается динамикой антропогенных индикаторов в пыльцевых спектрах

исследованных объектов и согласуется с археологическими данными по более восточным регионам.

4. В локальной динамике растительности исследованных олигомезотрофных болот Смоленской области выявлены схожие стадии, несмотря на их удаленное положение друг относительно друга. Их развитие начиналось около 4500–4200 л. н. со стадии эу-мезотрофного болота с участками открытого водоёма. Постепенно они трансформировались в олиго-мезотрофные болота. Это подтверждается данными литологического и ботанического анализов отложений.

Благодарности

Автор выражает глубочайшие благодарности научному руководителю исследования Ершовой Екатерине Георгиевне за нежное руководство, своевременные наставления и предоставление возможности совершать ошибки, заведующему кафедрой экологии и географии растений Владимиру Гертрудовичу Онопченко за мудрые наставления и регулярное снабжение литературой, близкой к теме диссертационного исследования, что позволяла увидеть собственную работу в более глобальном контексте, Николаю Александровичу Кренке за введение в историко-археологический контекст исследования и организацию экспедиций, Марии Борисовне Носовой за рекомендации, позволившими сделать работу лучше и Валерию Пименову за неоценимую помощь с камеральными работами.

Отдельная благодарность сотрудникам, студентам и аспирантам кафедры экологии и географии растений за помощь, чувство плеча и уютную атмосферу: К. Б. Поповой, М. М. Журавковой, А. П. Серёгину, В. Э. Федосову, Д. В. Суховой, А. А. Аксёновой, С. А. Баландину, О. В. Чередниченко, М. Н. Кожину, С. В. Дудову и Виктории Шаталовой.

Работа проходила при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-34-90172).

Глава 1. Современное состояние палинологии

1.1. Становление палинологии

Исследования взаимодействия системы человек-климат-растительность опираются на масштабную сеть палеоархивов, среди которых озёрные, болотные, старичные и пещерные отложения, а также ледниковые керны. Спорово-пыльцевой анализ — один из самых старых и, тем не менее, самых распространенных и по сей день методов изучения палеоархивов. Спорово-пыльцевые данные считаются важнейшим источником информации для реконструкции истории землепользования в доисторический период, с их помощью уточняют полученную другими методами динамику климата, отслеживают движение ареалов видов, границ целых природных зон и реконструируют эволюцию растительности и экосистем в больших географических масштабах.

Метод реконструкции растительности с помощью спорово-пыльцевого анализа зародился более 100 лет назад. В западной истории науки его отцом-основателем считается Леннарт фон Пост (Birks, Berglund, 2018), который в 1916 году публично представил первую спорово-пыльцевую диаграмму, а в 1918 — опубликовал её в своей статье (von Post, 1918). Первый спектр отражал динамику всего шести таксонов из 12 образцов болотных отложений юга Швеции. В обсуждении автор выдвигал гипотезы об истории растительности вокруг исследуемого объекта.

В Российской традиции отцом-основателем спорово-пыльцевого анализа называют Владимира Николаевича Сукачёва (Сафарова, 2014), который в начале своей академической карьеры занимался изучением пыльцы торфяников и заметил, что в болотных отложениях из окрестностей г. Бологое количественное соотношение пыльцевых зерен разных таксонов постепенно изменяется от образца к образцу. Полученные данные он опубликовал на 10 лет раньше диаграммы фон Поста (Сукачёв, 1906).

Работы и Л. фон Поста, и В. Н. Сукачева привлекли широкое внимание академического сообщества, и в 1920-х годах метод стал набирать популярность по всему миру (Jessen, 1920; Auer, 1921; Draper, 1929), а к 1930-м в разных странах уже сложились целые школы палинологов, а за спорово-пыльцевым анализом с тех пор закрепилось звание главного метода по реконструкции растительности прошлого и палеоареалов отдельных видов в голоцене (Гричук, Заклинская, 1948; Erdtman, 1940). К 1950-м годам метод начали применять уже и к плейстоценовым отложениям (Andersen, 1958). Исследователи этого этапа становления спорово-пыльцевого анализа уже сравнивали пыльцевые спектры разных объектов друг с другом, проводили на их основе палеогеографические исследования и делали выводы о формировании флор, несмотря на ограниченность статистического инструментария и методов хронологической привязки образцов.

1.1.1. История методов радиоизотопного датирования

Новые возможности в проведении палеоэкологических и палеогеографических исследований дало появление радиоуглеродного датирования. Истоки этого метода восходят к легендарной истории о крестике, который Анри Беккерель хранил в ящике стола, по случайности, между куском урановой руды и фотопластинами. Большинство фотопластин, когда они понадобились, Беккерель обнаружен засвеченными, а на той, что лежала рядом с крестиком, появился абрис предмета. Эта случайность легла в основу дальнейших экспериментов с солями урана, и его способность испускать нечто, засвечивающее пластины, учёный назвал радиоактивностью, хотя природа этого явления ему была не ясна (Becquerel, 1901).

Экспериментами Беккереля заинтересовались Пьер и Мария Кюри, и в 1903 они опубликовали работу о природе радиоактивности (Curie, Curie, 1903). В том же году все трое получили Нобелевскую премию по физике с формулировкой «В знак признания выдающихся заслуг, выразившихся в открытии самопроизвольной радиоактивности».

Уже в 1904 году британский физик Эрнест Резерфорд выдвинул гипотезу о возможности датирования геологических пород по соотношениям изотопов в них,

а в 1907 в Йельском университете впервые датировали урансодержащие породы уран-свинцовым методом (Boltwood, 1907), который применяется по сей день.

Благодаря бурному развитию ядерной физики в последующие десятилетия точности датировок росли, было найдено больше пар изотопов, по которым можно датировать древние образцы, однако все они позволяли работать лишь на хронологических отрезках в интервале от сотен тысяч до сотен миллионов лет назад.

Возможность работать с датировками голоценовых образцов обеспечило появление радиоуглеродного метода. Произошло это в 1948 году: тогда американские физики, используя соотношение радиоактивного изотопа углерода ^{14}C в образцах и стабильных ^{12}C и ^{13}C , датировали образцы древесины, даты которых были прежде установлены альтернативными методами. Радиоуглеродные даты почти совпали с ожидаемыми (Arnold, Libby, 1949).

В 1950-х метод радиоуглеродного датирования взяли на вооружение специалисты из разных областей, и в 1960 году автору метода Уилларду Либби за его изобретение была присвоена Нобелевская премия по химии с формулировкой «За введение метода использования углерода-14 для определения возраста в археологии, геологии, геофизике и других областях науки».

1.2. Второй этап развития спорово-пыльцевого анализа

По мнению выдающегося норвежского палинолога Джона Биркса (Birks, 2005), распространение радиоуглеродного метода в 1950-х стало принципиальным нововведением для палинологов. Вместо качественного сопоставления пыльцевых спектров из разных объектов стало возможным привязывать их к абсолютной хронологической шкале и оценивать скорость поступления пыльцы в отложения (pollen influx) в зернах на единицу площади в год. Первое обстоятельство открыло больше возможностей для палеогеографических исследований, а второе — для извлечения большей информации при интерпретации спектров.

К 1970-м палинологический метод стал активно применяться за рамками палеогеографии. Например, он нашел применение в исследованиях археологических объектов (Bergund, 1969), реконструкциях агрикультурных

ландшафтов (Wasylikowa et al. 1985). Всё больше математических методов проникало в палинологию: к спорово-пыльцевым спектрам начали применять, например, кластеризацию, метод главных компонент и инструменты многомерной статистики (Birks, Webb, Berti, 1975). Развитие статистических методов в палеоэкологии открыло новые возможности как для анализа каждого конкретного пыльцевого спектра, так и для сравнения разных спектров друг с другом и получения новой информации.

С помощью статистических методов датский учёный Хенрик Таубер выявил закономерность: пыльцевые спектры близких друг к другу объектов порой больше отличаются друг от друга, чем спектры удаленных друг от друга объектов. Причем спектры маленьких по площади объектов более вариативны, чем спектры крупных. В 1967 году он опубликовал модель пыльцевого дождя, составленную на основе сравнения рецентных спектров водно-болотных отношений из окруженных лесами объектов (Tauber, 1967). В полученных спектрах он выявил 5 слагающих их компонентов (Рис. 1): заносный компонент (пыльцевые зерна, принесенные дальним атмосферным переносом), компонент от окружающего полога леса, компонент от стволов вокруг, компонент поверхностного стока, гравитационный компонент (от локально растущих растений).

Модель пыльцевого дождя позволила выделять в пыльцевых спектрах локальный и региональный сигналы, причем, по замечанию Х. Таубера, при увеличении площади объекта доля регионального и заносного компонентов в спектре увеличивается, а при уменьшении площади возрастает доля локальных компонентов. Эта модель оказала существенное влияние на интерпретации результатов спорово-пыльцевого анализа.

1.3. Современное состояние палинологии

Палинолог Джон Биркс обозначает начало современного этапа развития палинологии как отрасли 1974 годом: к тому моменту начали появляться сводные каталоги спорово-пыльцевых данных (прообразы современных электронных баз данных), сформированы основные стандарты полевого отбора данных, протоколы лабораторной подготовки образцов, методики датирования, статистического

анализа и даже принципы моделирования палеоклиматов на основе палинологических данных (Birks, Berglund, 2015). То есть все сформированные к последней четверти XX века основы и принципы с появлением цифровых инструментов лишь продолжили совершенствоваться и развиваться.

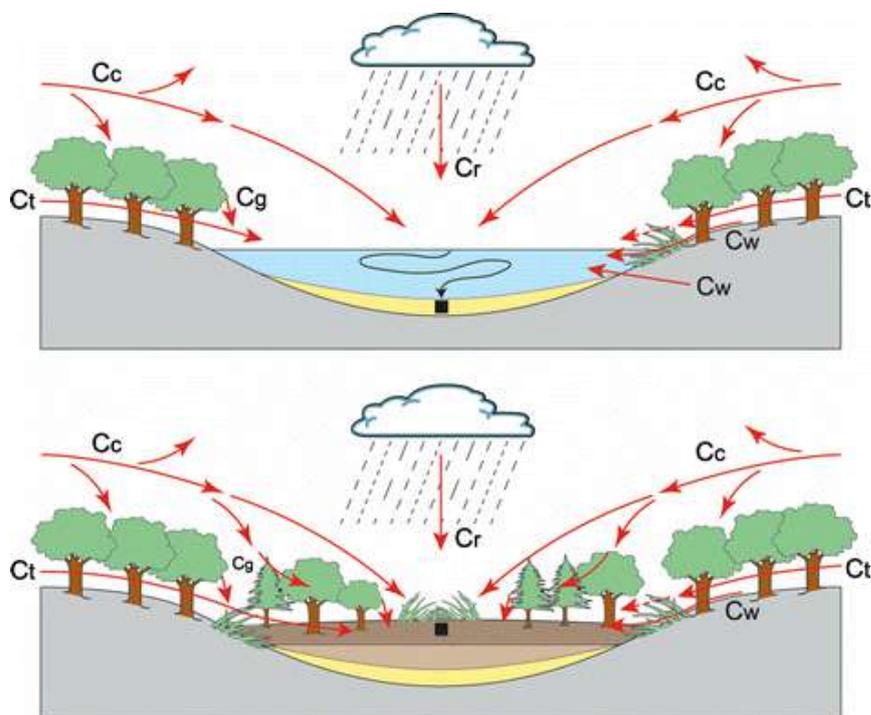


Рисунок 1. Модель пыльцевого дождя по Х. Тауберу (Tauber, 1967): **Cr** – заносный компонент, **Cc** – компонент от полога вокруг, **Ct** – компонент от «стволов вокруг», **Cw** – компонент поверхностного стока, **Cg** – гравитационный компонент.

Развился инструментарий палинологов: современные световые микроскопы позволяют замечать более тонкие определительные признаки и различать большее число таксонов (Edward, Fyfe, Jackson, 2017), новые методы датирования (в частности — AMS-радиоуглеродное датирование) позволяют теперь получать точные хронологические привязки по небольшой навеске образца (Hajdas et al., 1995), цифровые базы данных ископаемых (Fife et al., 2009; Williams et al., 2018) и поверхностных (Davis et al., 2013; 2020) спектров открыли широкие возможности для палеогеографических и палеоклиматических исследований на огромных пространственных и временных масштабах. В контексте создания баз данных и программного обеспечения одним из апостолов, на труды которого необходимо

сослаться в труде палинолога, считается Эрик Гримм (Fife et al., 2009; Grimm et al., 2013). Его труды облегчили работу с палинологическими данными, предоставили новые возможности визуализации и анализа данных и благодаря унификации палеопалинологических данных сделали возможным проводить исследования на качественно новом уровне.

В последнее десятилетие предпринимаются попытки палинологических исследований, основанных на анализе больших данных и техниках машинного обучения. В частности, недавно было выполнено несколько исследований по реконструкции динамики лесов Европы (Roberts et al., 2018; Githumbi et al., 2022) — математические модели семейства LOVE/REVEALS считаются перспективными для построения подобных реконструкций и развиваются уже более 15 лет (Sugita, 2007a; Sugita, 2007b; Mottl et al., 2021). Спорово-пыльцевые данные становятся одним из основных источников для климатических реконструкций внутриконтинентальных областей (Chevalier et al., 2020; Kaufman et al., 2020). В частности, на основе ископаемых пыльцевых данных из базы Neotoma и современных пыльцевых спектров, собранных в базе EMPD 2 (Eurasian Modern Pollen Database), с помощью метода подбора современных аналогов была построена динамика климата для северного полушария на протяжении голоцена (Herzschuh et al., 2022; Herzschuh et al., 2023).

Другой тренд современной палинологии — адаптация разных подходов к анализу спорово-пыльцевых данных для разных локальных условий. В частности, метод количественной реконструкции биомов (Quantitative Biome Reconstruction), впервые предложенный в 1996 г. (Prentice, 1996) был адаптирован и протестирован П.Е. Тарасовым на голоценовых данных, полученных с территорий постсоветских республик (Tarasov et al., 1998). Позже метод был успешно апробирован на североевразийских данных по динамике растительности последнего ледникового максимум (Tarasov et al., 2000), применяют его и в современных работах (Binney et al., 2017; Tarasov et al., 2022). Суть метода заключается в математической трансформации процентных спорово-пыльцевых данных, чтобы нивелировать разницу пыльцевой продуктивности каждого отдельного таксона, и подсчете сумм

преобразованных данных для нескольких наборов таксонов. Каждый набор таксонов соответствует тому или иному биому. О работе метода и его применении в данной работе изложено в разделе 3.5.

Глава 2. Характеристика района исследования

2.1. Географическое положение

Днепр — четвёртая по протяженности река Европы, уступающая Уралу, Дунаю и Волге. Его протяженность превышает 2200 км (точные оценки разнятся от 2201 до 2287 км в зависимости от учёта влияния системы водохранилищ). Днепр проходит через территории трёх государств: России, Беларуси и Украины.

В течении Днепра выделяют три части: верхнее, среднее и нижнее. Под верхним течением, или верховьем, Днепра подразумевают самый длинный отрезок реки (более 1300 км) от истока (болото Мшары урочища Аксёнинский Мох в Сычёвском районе Смоленской области) до Киева. Весь отрезок Днепра, проходящий по территории Смоленской области, относится целиком к верховью. Протяженность этого отрезка составляет 485 км (расчёты выполнены в ГИС-системе QGIS на основе открытых данных Open Street Maps Foundation). Средним течением называют отрезок Днепра от Киева до Запорожья, а нижним, или низовьем, — от Запорожья до устья, где Днепр впадает в Чёрное море.

Смоленская область расположена на Восточно-Европейской равнине: большей частью — на Смоленско-Московской возвышенности, северо-запад области попадает на Прибалтийскую низменность, а юг — на Приднепровскую низменность. Максимальная высотная отметка Смоленской области составляет 321 м над уровнем моря (под д. Марьино и д. Ломы в Вяземском районе), а минимальная — 141 м (по правому берегу р. Западной Двины под д. Верховье в Велижском районе).

Выделение зон течения Днепра почти совпадает с биогеографическим зонированием: верховье Днепра проходит по таёжной зоне (а именно — по подзоне подтайги), среднее течение — по зоне широколиственных лесов, а низовья — по зоне степей. Подробная ботанико-географическая характеристика верховьев Днепра приведена в разделе 2.3.

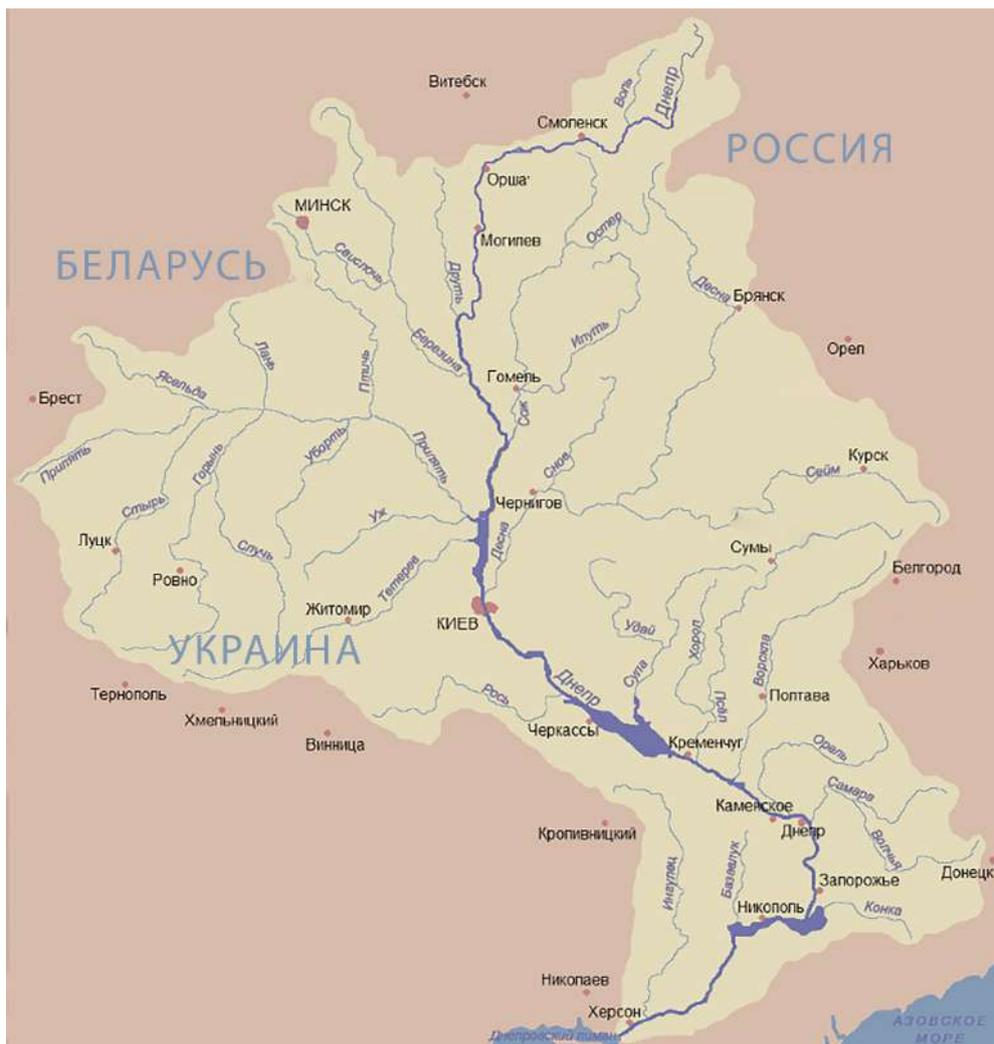


Рисунок 2. Карта-схема бассейна реки Днепр (по Сафонов А., 2014 с модификациями).

Расстояние между северной и восточной точками Смоленской области составляет 250 км, а между восточной и западной — 280 км. Общая площадь Смоленской области — 49 800 км². Объекты исследования расположены в пяти разных административных районах: Краснинском, Смоленском, Демидовском, Вяземском и Сычѣвском). Максимальное удаление между объектами исследования составляет 205 км (урочища Радомский Мох и Аксѣнинский Мох, или Мшары), т.е. исследование покрывает существенную часть бассейна верхнего течения Днепра на территории РФ.

2.2. Климат

По классификации Б. П. Алисова (1974), заложившего основы климатического районирования в отечественной науке, всё течение Днепра относится к континентальной области умеренной климатической зоны северного полушария. Эта область характеризуется теплым летом и холодной зимой с устойчивым снежным покровом. Континентальность климата в европейской части Евразии возрастает с запада на восток, что отражается главным образом в снижении зимних температур, увеличении амплитуды зимних и летних температур и уменьшении количества осадков. Максимум их выпадения в этой климатической области, как правило, приходится на лето.

В пределах российского отрезка верховьев бассейна Днепра, по данным многолетних наблюдений (Табл. 1), прослеживаются макроклиматические закономерности: если температуры и их амплитуды изменяются всего в пределах 0,5 °С, то годовое количество осадков при продвижении с запада на восток падает более чем 15%.

Табл. 1. Ключевые климатические характеристики ближайших к объектам исследования населенных пунктов, рассчитанные по усредненным метеорологическим данным с 1981 по 2010 гг. Метеорологические данные взяты из базы Мирового центра данных Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации (Булыгина и др.) и усреднены вручную.

Населенный пункт	Координаты	Ср. t янв., °С	Ср. t июля, °С	Р (среднегод.), мм
Смоленск	54,7840° N, 32,0326°E	-6,2	17,8	738
Вязьма	55,2060°N, 34,2992°E	-7	17,7	623
Белый	55,8308°N, 32,9514°E	-6,6	17,7	675

2.3. Биогеографическое районирование

Согласно биогеографической классификации Г. Н. Огуревой (1999), район исследования находится в таёжной зоне, подзоне подтайги с коренными

прибалтийско-ветлужскими хвойными и хвойно-широколиственными лесами. На водоразделах в районе исследования формируются елово-широколиственные, сосново-широколиственные леса, черноольховые топи, а также травяные и сфагновые грядово-мочажинные болота. Из хвойных деревьев преобладают сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) и ель обыкновенная (*Picea abies*). Среди широколиственных деревьев распространены дуб черешчатый (*Quercus robur*), вяз гладкий и вяз шершавый (*Ulmus laevis* и *Ulmus glabra*), клён платановидный (*Acer platanoides*) и липа сердцевидная (*Tilia cordata*). Коренные растительные сообщества формируются на плакорах при отсутствии антропогенных нарушений.

Внутри Смоленской области, в которой находятся все объекты представленного исследования, на основе комплексных анализов выделяют четыре природных района (Рис. 3) (Погуляев, Шостьева, 1963; Шкаликов, 2001; Немирова, Мартынов, 2010; Семенищенков, 2018), названия и границы которых несколько варьируют. В этой работе приведено деление районов по работе Е. С. Немировой и Н. В. Мартынова (2010): они выделяли Каспьянско-Западно-Двинский, Вяземско-Вазутский, Сожско-Днепровский и Остёрско-Деснинско-Угранский районы.

Каспьянско-Западно-Двинский район охватывает северо-западные районы Смоленской области. На севере района преобладают смешанные леса с доминированием в древесном ярусе ели обыкновенной (*Picea abies*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), берёзы повислой (*Betula pendula*), тополя дрожащего (*Populus tremula*) и примесью дуба черешчатого (*Quercus robur*) и липы сердцевидной (*Tilia cordata*). Среди болот в районе преобладают верховые и переходные сфагновые болота, на которых обычны кустарнички из семейства Ericaceae (*Vaccinium uliginosum*, *Calluna vulgaris*, *Oxycoccus palustris* и *O. microcarpus*, *Rhododendron tomentosum*, *Andromeda polifolia*), приуроченные к сфагновым кочкам. Среди деревьев на переходных болотах обычны сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), берёза пушистая (*Betula pubescens*), и изредка встречается берёза кустарниковая (*Betula humilis*) (Немирова, Мартынов, 2010). Большая часть болот района находится на территории национального парка «Смоленское поозерье», где они, как правило, ледникового происхождения

(Березина, 2003). В этом районе находится один из объектов текущего исследования — безымянное болото в Демидовском районе близ Акатовского озера, названное в работе «Акатово-1».



Рисунок 3. Природные районы Смоленской области (Немирова, Мартынов, 2010).

На границе Каспийско-Западно-Двинского и расположенного юго-восточнее Сожско-Днепровского района находится другой объект исследования — урочище Радомский Мох. Сожско-Днепровский район, или центральный, занимает наибольшую площадь. Значительная его часть была отведена под сельскохозяйственные угодья, большая часть которых сейчас заброшена. На месте заброшенных пашен формируются вторичные мелколиственные леса с преобладанием *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Alnus incana* в древесном ярусе.

Местами встречаются сообщества промежуточной сукцессионной стадии — березняки с примесью *Picea abies* и широколиственных деревьев (*Quercus robur*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Ulmus glabra*), возобновление берёзы в которых уже не происходит (Семенищенков, 2018).

Вяземско-Вазузский район, расположенный на северо-востоке области, включает два объекта исследования — исток р. Днепр, болото Мшары урочища Аксёнинский Мох в Сычёвском районе, и безымянное болото близ деревни Красный Холм в Вяземском районе. Для этого района характерна большая континентальность климата и, как следствие, меньшая заболоченность. Вплоть до 1980-х огромные площади в этом районе занимали сельскохозяйственные угодья, которые вследствие забрасывания заросли вторичными лесами с доминированием *Betula pendula*, *Populus tremula* и примесью *Picea abies* и *Alnus incana*. Виды широколиственных деревьев в таких лесах встречаются редко. На севере и северо-западе района на тяжелых почвах распашка не производилась, и там сохранились коренные сложные ельники с примесью широколиственных деревьев (*Quercus robur*, *Tilia cordata*) и ельники-черничники (Рыбкина, 2001).

Остёрско-Деснинско-Угранский район расположен в южной и юго-восточной части Смоленской области. Его граница проходит примерно в 20 км к югу от одного из наших объектов исследования, безымянного болота в Вяземском районе. Район существенно отличается от других по растительности ввиду его геологической истории. Во время днепровского оледенения его территория находилась у границы ледника и была местом стока талых вод. Из-за этого современный рельеф района представлен аллювиальными и зандровыми равнинами (Величко и др., 1977). На них произрастают сосново-елово-мелколиственные леса с примесью широколиственных деревьев (*Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Ulmus glabra*) (Немирова, Мартынов, 2010). В долине р. Ипути, у границы с Брянской областью, ввиду более теплого климата встречаются участки дубрав (Семенищенков, 2018).

2.4. Ландшафтно-географическое районирование

Согласно карте ландшафтно-географического районирования (Погуляев, Шостьева, 1964) в Смоленской области выделяют три провинции: Валдайского, Московского и Днепровского оледенения. Их разграничение связано с границами плейстоценовых оледенений, что отражено в их названии.

Первая провинция — провинцию Валдайского оледенения — охватывает северо-запад области, она характеризуется свежими моренными формами рельефа, почвами легкого механического состава, ледниковыми озёрами и торфяными болотами.

Вторая провинция — провинция Московского оледенения — охватывает центр региона, и в ней выделяют три округа:

- Сожско-Днепровский моренный округ покрывает центральную, самую большую по площади, часть региона. Он характеризуется преобладанием покровных лессовидных суглинков и пылевато-суглинистых почв.
- Вяземско-Вазузский возвышенный моренный округ охватывает северо-восточную и восточную часть региона. Этот округ отличается поднятым цоколем из каменноугольных пород, покровом лессовидных суглинков и глин, суглинистыми, глинистыми и тяжелосуглинистыми почвами.
- Остерско-Деснинско-Угранский зандровый округ расположен на юго-востоке области. Он характеризуется моренными грядами, перекрытыми покровными суглинками.

Третья провинция — провинция Днепровского оледенения — охватывает лишь небольшой участок юга Смоленской области и характеризуется супесчаными и песчаными, местами заболоченными почвами.

В каждом из округов выделяются также ландшафтно-географические районы, которые более подробно рассмотрены в разделе 4.

2.5. Археологический контекст

2.5.1. Гнёздовский археологический комплекс и древний Смоленск

Покрытие Смоленской области археологическими исследованиями неоднородно. Лучше всего изучен археологический комплекс «Гнёздово», расположенный у одноимённой деревни по обоим берегам Днепра примерно в 12 км к западу от Смоленска.

Комплекс был обнаружен случайно во время строительства железной дороги Орёл — Витебск в 1867 году. Тогда рабочие на месте строительных работ нашли клад с серебряными украшениями, относящимися к эпохе викингов. Этот клад был передан в государственный музей «Эрмитаж», получил в название «Большой гнёздовский клад» и с тех пор считается самым крупным из найденных на территории комплекса кладом (Пушкина, 1998). В начале 1870-х годов на месте строительства железной дороги рабочие нашли ещё два клада, и в 1874 году к изучению местности приступает член-корреспондент Московского археологического общества Михаил Францевич Кусницкий (Пушкина, 1998). С тех пор изучение Гнёздова не прекращается на протяжении уже полтора столетия. Сейчас на территории археологического памятника работают археологи из трёх организаций: Государственного исторического музея, исторического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Музея-заповедника «Гнёздово».

В настоящее время Гнёздовский археологический комплекс занимает более 430 га и включает в себя 2 городища – Центральное (X–XI вв.) и Ольшанское (XVII в.), – 4 селища, 7 групп курганов, в которые входят более 4500 курганов, из которых уцелело более 1700 и изучено около 1500 (Авдусин, 1991). Это крупнейший из сохранившихся языческих некрополей на территории Восточной Европы, а Большой гнёздовский клад — одна из крупнейших находок артефактов эпохи викингов в мире (Пушкина, 1998).

Несмотря на полуторавековую историю изучения, Гнёздовский археологический комплекс продолжает оставаться предметом оживлённой исторической дискуссии, связанной с первыми этапами формирования русского

государства. Первая позиция в этой дискуссии касается норманской теории, согласно которой образование древнерусского государства связано с варягами, которых считают норманнами, и викингими. Эта теорию выдвинули немецкие учёные ещё в XVIII веке, и в оппозицию норманизму М.В. Ломоносов выдвинул концепцию антинорманизма, согласно которой народ русь и варяги рассматриваются как потомки восточных славян, прусов и финнов (Петрухин, 2014). Согласно современным представлениям, Гнёздово возникло на месте славянского поселения (здесь находят артефакты кривичей – славянском племени Смоленского Поднепровья, – и археологической роменско-борщёвской культуры) в результате экспансии скандинавов, масштабы которой пока оценить затруднительно (Лебедев, 2005).

Другой предмет дискуссий связан с соотношением Гнёздова и древнего Смоленска. Причина дискуссии восходит к тому, что Гнёздово в отличие от Смоленска не упоминается в летописных источниках, хотя культурных находок Древнего Смоленска значительно меньше. Существует несколько гипотез, старающихся объяснить этот феномен (Петрухин, 2018):

- Гнёздово — это некрополь; кладбище древнего Смоленска,
- Гнёздово и Смоленск существовали одновременно, но выполняли разные функции,
- Гнёздово могло быть тем самым летописным Смоленском.

Долгое время в отечественной археологии господствовал гнёздовоцентрический взгляд, хотя в последнее время стараниями Смоленской археологической экспедиции появляется всё больше свидетельств в пользу того, что Смоленск во времена величия Гнёздова также был крупным поселением, масштаб которого недооценен в силу меньшей изученности (Ершова, Кренке, 2017; Кренке и др., 2021; Кренке и др., 2022; Кренке и др., 2023).

Период существования Гнёздова охватывает менее 3 столетий (с IX по начало XI вв.). Тем не менее, это поселение считается одним из ключевых на пути из варяг в греки. Через него проходили викинги, следуя из Балтийского моря через Ладогу по р. Волхову в верховья Днепра и далее либо через Волгу или

Дон и Каспийское море к Исламскому халифату, либо по Днепру и далее через Чёрное море — в Константинополь, центр мировой торговли того времени (Пушкина, 1998).

2.5.2. Общий археологический контекст

Гнёздово и Древний Смоленск — археологические памятники, охватывающие два ярких, но относительно коротких периода истории исследуемого региона: эпоху викингов и раннее средневековье. Предшествующие им эпохи и памятники изучены значительно меньше, и степень археологической изученности разных районов Смоленской области сильно варьируется. Большая часть исследований проводилась до широкого распространения методов абсолютного датирования, что усложняет соотнесение этих данных с палеоэкологическими.

Несмотря на ряд ограничений, ниже представлена попытка собрать археологическую типологию, привязанную к абсолютной хронологической шкале. Основой для этой периодизации послужили сводные труды В. Л. Янина (2012) и Ю. А. Краснова с соавторами (1997), ряд современных работ по местным историческим памятникам и консультации Н.А. Кренке.

Заселение верховьев Днепра человеком, судя по археологическим находкам, началось в верхнем палеолите (Лявданский, 1927 по Шмидт, 1972). В мезолите Верхнем Поднепровье и Восточной Беларуси преимущественно встречаются находки, принадлежащие гренской культуре. Это преимущественно отщепы, каменные рубящие орудия, костяные наконечники стрел и украшения, скребки, резцы, проколки и скобели. Гренская культура была распространена с середины IX по конец VI тысячелетия до н. э., орудия труда производящего хозяйства для этой культуры не характерны (Янин, 2012).

Для Верховьев Днепра и Смоленской области известно крайне мало раннеолитических находок с радиоуглеродными датами. Восточнее, в Московской и Ивановской областях, начало раннеолитической льяловской культуры отсчитывают с конца VI тысячелетия до н. э. (Зарецкая, Костылева, 2004; Зарецкая, Костылева, 2008). Конец неолита в лесной зоне датируется концом III

тысячелетия до н. э. (Кренке, 2019) и совпадает с распространением культур раннего бронзового века. Неолитические культуры Верхнего Поднепровья, такие как льяловская и её последующие, ассоциируются с распространением гончарного производства. Производящее хозяйство у этих культур не было развито, основная деятельность — рыболовство и охота.

Энеолит и Бронзовый век на западе России выделяют с середины III по конец II тысячелетия до н. э. Эти эпохи включают множество археологических культур: волосовскую культурную общность, культуру шнуровой керамики, абашевскую (Калужская область и восточнее), тшинецкую (Беларусь и Смоленская область), культуры текстильной керамики и поздняковскую культуру. Культурам Бронзового века характерно появление первых в регионе орудий труда производящего хозяйства — топоров и серпов (Краснов и др., 1997; Янин, 2012).

Во второй половине II тысячелетия до н. э. в Верхнем Поднепровье появляются культуры раннего железного века с более развитыми орудиями труда, крупными селищами и укрепленными городищами (Кренке, 2021). Памятники эпохи Великого переселения народов в регионе датируются IV–VII вв. н. э., эпоха викингов

VIII–X вв. н. э., средние века — с X века (Шмидт, 1972; Янин, 2012; Шмидт, 2014).

Примечательно, что в Верхнем Поднепровье периоды заселения следуют друг за другом без очевидных пауз опустения, как например, отмечается в Московской области между ранним железным веком и ранним средневековьем (Кренке, 2019). Археологическая периодизация района исследования, сопоставленная с существующими периодизациями голоцена представлена на Рис. 4 в разделе 2.6.1.

2.6. Динамика растительности района исследования в голоцене

2.6.1. Подходы к периодизации голоцена

Международный союз геологических наук (IUGS) в 2018 году принял новое деление голоцена на три периода, или яруса: гренландский (11700–8236 л. н.), или

ранний голоцен; северогриппианский (8236–4250 л. н.), или средний голоцен; и мехгалийский (с 4250 л. н. по настоящее время), или поздний голоцен. Это деление разработано согласно данным изотопно-кислородного анализа льдов из гренландской скважины проекта NorthGRIP (NGRIP, North Greenland Ice Core Project) (Head, 2019; Walker et al., 2019).

В отечественных и североевропейских исследованиях чаще используют шкалу Блитта–Сернандера, история которой уходит в XIX век. В 1829 году датский геолог Иоганн Генрих Дау обратил внимание, что в торфяных отложениях датских болот чередуются слои тёмного и светлого цветов, причем число и порядок этих слоев, как правило, одинаковы (Daу, 1829). Спустя несколько десятилетий норвежский ботаник Аксель Гудбранн Блютт (Блитт), интересовавшийся палеонтологией и геологией, в эссе о происхождении норвежской флоры, явно вдохновленным популярными в то время идеями Дарвина, высказывает предположение, что светлые слои торфа сформировались в более влажные периоды, которые он назвал атлантическими (Atlantic), а темные слои — в более засушливые периоды, которые назвал бореальными (Boreal) (Blytt, 1876).

Идею А. Блютта подхватил шведский учёный Рутгер Сернандер, который также выделил позднеледниковый и пребореальный, субатлантический и суббореальный периоды — так сложилось деление голоцена на 5 контрастных климатических подэпох: пребореал, бореал, атлантик, суббореал и субатлантик (Mangerud, 1982).

Система Блитта–Сернандера на протяжении XX века дополнялась, уточнялась и адаптировалась под разные регионы десятками исследователей. Один из отцов палинологии, уже упомянутый Леннарт фон Пост, выделил пыльцевые зоны, соответствующие пяти периодам голоцена. Эти зоны стали основой для относительного датирования пыльцевых данных Северной и Северо-Западной Европы (Fries, 1966; Birks, 2019).

С накоплением данных о голоценовой динамике экосистем и ландшафтов, а также радиоуглеродных датировок, все периоды голоцена Северной Европы были объединены и впервые привязаны к абсолютной хронологической шкале

(Mangerud, 1974). Для европейской части России схему Блитта-Сернандера адаптировал советский палеогеограф Никита Александрович Хотинский (1977).

Периодизация Блитта-Сернандера оказалась удобной, и её до сих пор используют отечественные и европейские исследователи. Выделенные периоды голоцена рассматриваются не столько как климатические эпохи, сколько как хронологические отрезки. При обсуждении антропогенного сигнала в палинологических спектрах исследователи также часто пользуются археологической периодизацией (см. раздел 2.4.2). Для дальнейшего удобства на рис. 4 отражено соответствие всех упомянутых периодизаций абсолютной хронологической шкале.

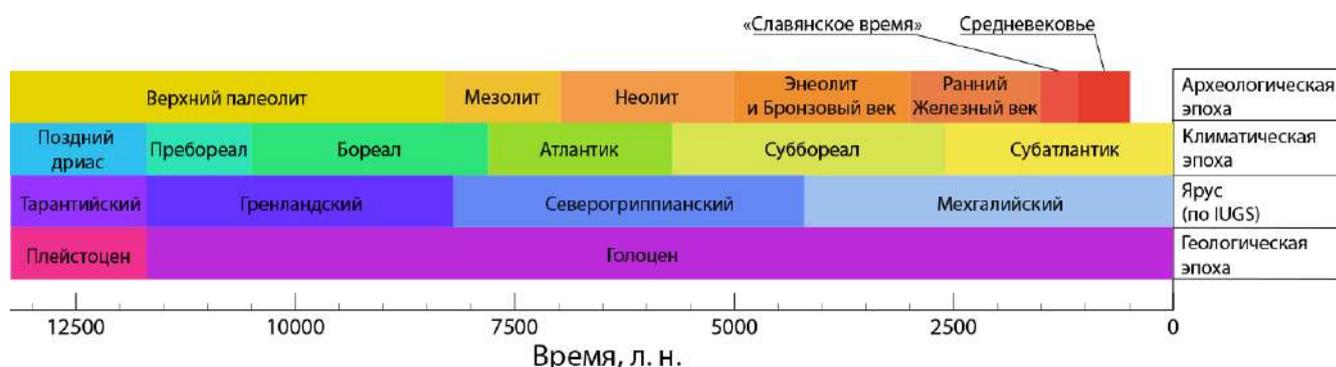


Рисунок 4. Соотнесение геологической периодизации голоцена с археологической, составленной для западных регионов России

2.6.2. Голоценовая динамика ландшафтов запада России

Монографии по позднеплейстоценовой и голоценовой динамике ландшафтов Восточной Европы были написаны в советское время выдающимися специалистами В.П. Гричуком (1989) и Н.А. Хотинским (1977). Их достоинство заключается не столько в детальности, сколько в широком географическом охвате.

С распространением и доступностью методов радиоуглеродного датирования в последние два десятилетия начали появляться более подробные и, в последние годы, тщательно датированные локальные реконструкции позднеплейстоценовой и голоценовой растительности и ландшафтов для большинства регионов запада России (Kremenitski et al., 2000; Березина, 2003; Novenko, 2006; Borisova et al., 2008; Ershova et al., 2016; Носова и др., 2015; Novenko et al., 2015; Nosova et al., 2019; Tarasov et al., 2019; Miagkaia, Ershova, 2020;

Kamygina, Ershova, 2024), выполненные по одному или нескольким объектам. Затем начали появляться обзорные публикации и монографии по динамике климата, экосистем и ландшафтов более крупных географических единиц внутри запада России с привязкой к абсолютной хронологической шкале (Величко, 2009; Волкова и др., 2017; Новенко, 2021). Ниже приведён краткий обзор динамики ландшафтов исследуемого региона, основанный на указанных работах.

Ранний голоцен (11.7–8.2 тыс. л. н.) Е.Ю. Новенко (2021) называет «эпохой кардинальных изменений гидрологического режима рек и флювиального рельефообразования». В позднеледниковье из-за таяния ледника сток рек существенно превышает современный, что видно по палеоруслам, в депрессиях рельефа на водоразделах начинаются процессы заболачивания. По спорово-пыльцевым и палеоботаническим данным, после схода ледника формировались березняки и берёзово-сосновые леса, в которые затем внедрялись неморальные элементы в направлении с юго-запада на северо-восток.

Средний голоцен (8.2–4.2 тыс. л. н.) в Восточной Европе характеризуется двумя выраженными подэпохами: термическим максимумом голоцена (до 5.7. тыс. л. н.) и последующим похолоданием (Величко, 2009). Во время термического максимума на обширных пространствах — от Польши и Западной Украины до Мещеры — происходило интенсивное болотообразование (Величко, 2009; Новенко, 2021) и широко распространялись широколиственные леса.

В позднем голоцене (с 4.2 тыс. л. н. по настоящее время) кардинальных перестроек ландшафтов не отмечается, однако растительный покров изменяется существенно. В направлении с севера на юг продвигаются таёжные элементы флоры и таким образом формируются современные таёжная зона и подзона смешанных лесов (Новенко, 2021).

2.6.3. Динамика растительности Смоленской области в голоцене

Исследований по динамике растительности непосредственно Смоленской области известно немного: это работы Н. А. Березиной и А. А. Гольевой в национальном парке «Смоленское Поозерье» (Березина, Гольева, 2002; Березина,

2003), М. А. Бронниковой с коллегами в археологическом комплексе «Гнёздово» (Sedov et al., 1999; Bronnikova et al., 2003; Бронникова, Успенская, 2007), а также работы П. Е. Тарасова (Tarasov et al., 2019; 2022) с соавторами по динамике растительности верховьев Западной Двины, выполненные в том числе по объектам, расположенным на границе Смоленской и Псковской областей.

Первые (они выполнены на основе комплексного анализа одной колонки) охватывают почти весь голоцен, но хронология колонки построена по двум радиоуглеродным датам, и спорово-пыльцевые диаграммы в публикациях не приведены. Кроме того, Смоленское Поозерье расположено на северо-западной окраине региона, и экстраполировать результаты этого исследования на всю Смоленскую область или Верховья Днепра некорректно. Работы в археологическом комплексе «Гнёздово» датированы более подробно, но они выполнены по пойменным отложениям и отражают лишь локальную динамику экосистем за последние 3000 лет.

Краткий обзор динамики экосистем исследуемого региона основан на работах Н. А. Березиной, описывающих палинологические спектры отложений болот Лопатинский мох и Вервижский мох; исследованиях В. П. Зерницкой и соавторов по отложениям озера Старое (Оршанский район, Витебская область, Беларусь), близ границ района исследования (Zernitskaya et al., 2015), а также на работах П. Е. Тарасова по бассейну Западной Двины.

Ранний голоцен. В Восточной Беларуси, у границ со Смоленской областью, раннеголоценовое потепление приводит к смене открытых ландшафтов лесными. Доля полыни в спектре резко сокращается около 11700–11500 л. н., и начинает доминировать пыльца сосны, что, по мнению авторов исследования, отражает формирование открытых светлых сосняков (Zernitskaya et al., 2015).

Резкое падение кривой полыни в спектре и начало стремительного роста кривых сосны и берёзы использовались для проведения границы между плейстоценом и голоценом в спектрах, полученных по объектам бассейна Западной Двины (Tarasov et al., 2018; 2022). Та же закономерность наблюдается для подзоны

южной подтайги Центральной России в целом (Kremenetski et al., 2000; Miagkaia, Ershova, 2018).

Болота Смоленского Поозерья — Лопатинский мох и Вервижский мох — по результатам радиоуглеродного анализа, образовались около 9500 кал. л. н. Палинологические спектры из нижних слоев отложений показывают преобладание древесной растительности с преобладанием березы (> 60%) и сосны с примесью пыльцы ели, которая вскоре исчезает из спектров одновременно с увеличением доли вяза и липы (Березина, 2003).

По данным В.П. Зерницкой (Zernitskaya et al., 2015), внедрение берёзы в сосняки и формирование берёзово-сосновых лесов происходит в середине пребореала (около 10 000 л. н.). Начало бореала (около 9000 л.н.) характеризуется внедрением в берёзово-сосновые леса широколиственных пород — в первую очередь лещины и вяза, затем липы, а в последнюю очередь дуба и ясеня (Zernitskaya et al., 2015; Tarasov et al., 2019; 2022).

Средний голоцен. Чёткая граница между ранним и средним голоценом в международной классификации проходит по т. н. “8,2 ka event” (Head, 2019; Walker et al., 2019), которое в русскоязычной литературе не имеет общепринятого перевода. Это климатическое событие характеризуется резким похолоданием климата в Северной Евразии, что находит отражение в различных явлениях, включая динамику растительности.

В детально датированных спорово-пыльцевых колонках, полученных в бассейне Западной Двины, похолодание 8200 лет назад совпадает с появлением и началом роста доли пыльцы дуба в пыльцевых спектрах, стабильным присутствием и ростом доли ольхи, а также выходом на плато кривых сосны и берёзы после плавного падения (Tarasov et al., 2019; 2022).

Атлантическое потепление климата приводит к почти полному исчезновению ели в древостое и формированию многоярусных широколиственных лесов с участием бука и граба, которые сейчас в районе исследования и сопредельных ему регионах не растут (Березина, 2003; Tarasov et al., 2019; 2022). Относительные потепления и похолодания во время климатического оптимума

находят отражение в динамике пыльцы широколиственных деревьев. Во время похолодания их доля в спектрах снижается синхронно с ростом доли пыльцы деревьев вторичных лесов, а в периоды потепления происходит обратный процесс. Примечательно, что доля пыльца ели в спектрах голоценового оптимума остаётся константной на уровне 1–2%.

Стремительное увеличение доли ели в голоценовых спектрах до 20–40% происходит в конце атлантического периода (около 5500 л. н.) Конец среднего голоцена (первая половина суббореала, 5500–4200 л. н.) характеризуется усилением позднеатлантического тренда: участие широколиственных деревьев уменьшается, тогда как березы, сосны и ели возрастает.

Поздний голоцен. Чёткая граница между средним и поздним голоценовой, проводимой по глобальной засухе 4200 л. н., или “4,2 ka event”, в пыльцевых спектрах, полученных по объектам в исследуемом регионе (Kittel et al., 2020; Tarasov et al., 2019) и в пределах подзоны южной подтайги в целом (Kremenetski et al. 2000; Nosova et al., 2014; 2018; Miagkaia, Ershova, 2020; Tarasov et al., 2022) не фиксируется. То же самое наблюдается и во всей лесной зоне Восточной Европы (Pleskot et al., 2020).

Позднеголоценовая динамика растительности региона, в отличие от всех предыдущих этапов, характеризуется существенным влиянием антропогенного фактора. В пыльцевых спектрах наблюдается уменьшение доли пыльцы ели и широколиственных деревьев, а также увеличение доли пыльцы травянистых растений, включая культурные злаки и рудеральные виды. Эти изменения свидетельствуют о сокращении лесных площадей, расширении открытых пространств и появлении производящего хозяйства в районе исследования.

Если в суббореале антропогенная нагрузка и вызванные ею изменения растительности носят спорадический характер (то возникает, то затухает), то со второй половины субатлантического периода они становятся непрерывными (Березина, 2003; Bronnikova et al., 2003; Бронникова, Успенская, 2007; Tarasov et al., 2019).

Описанная динамика растительности в целом отражает общие для Русской равнины закономерности развития ландшафтов. Однако в регионе отмечаются и уникальные особенности, такие как появление ясеня в бореальном и атлантическом периодах, присутствие граба в атлантическом, устойчивое присутствие вяза на протяжении всего голоцена и исчезновение ели на границе бореального и атлантического периодов (Березина, 2003; Zernitskaya et al., 2015).

2.7. Естественно-научные свидетельства древнего производящего хозяйства в регионе

Одним из промежуточных результатов комплексного археолого-палеоэкологического проекта Смоленской археологической экспедиции ИА РАН стало обобщение всех датированных свидетельств антропогенной деятельности в районе исследования. Всего было получено более 70 точных радиоуглеродных дат (Кренке и др., 2022). Эти даты относятся к двум типам объектов: к серии археологических артефактов (нагары с горшков, зёрна культурных злаков, элементы построек, кости животных и др.) и связанные с эпизодами подсечного земледелия почвенные угли.

«Подсечные» угли обладают рядом признаков, которые позволяют отличить их от углей, образующихся при естественных лесных пожарах. Это обстоятельство делает их важным объектом в комплексных археолого-палеоэкологических исследованиях. В частности, подсечные угли мелкие (4–6 мм), округлые (что связано с их механическим перемещением в процессе обработки почвы и эрозии), в то время как угли от лесных пожаров крупные и угловатые. Угли из подсечных горизонтов также часто покрыты грязевыми шапочками. Радиоуглеродное датирование таких углей позволяет получить даты конкретных эпизодов подсеки на исследуемой территории (Ponomarenko et al., 2019; Ponomarenko et al., 2020; Пономаренко и др., 2021).

Исследование Н. А. Кренке с соавторами (Кренке и др., 2022) — уникальный пример масштабного применения АМС-радиоуглеродного датирования в регионе за пределами археологического комплекса «Гнёздово».

Согласно полученным данным, первые косвенные свидетельства антропогенной деятельности в регионе — окатанные и ожелезненные угольки дуба, которые можно интерпретировать как индикаторы подсечно-огневого земледелия, обнаруженные в погребенной под культурным слоем почве на Соборной горе Смоленска, — датированы 3811 ± 27 ^{14}C л. н. (4294–4141 кал. л. н.) (Кренке и др., 2022). Уголь из погребенной почвы в пойме реки Катynки (подробнее этот объект рассматривается в разделе 4.1) датирован 3330 ± 90 ^{14}C л. н. (3730–3377 кал. л. н.), а уголь из шурфа близ городища Демидовка — 3216 ± 22 ^{14}C л. н. (3465–3380 кал. л. н.). Единичная радиоуглеродная датировка, полученная в ходе представленного к защите исследования, выбивается из приведённого ряда своей древностью. Так, в долине р. Катynки было обнаружено зерно культурного злака, возрастом 4217 ± 32 ^{14}C л. н. (4854–4624 кал. л. н.).

Эти датировки являются древнейшими свидетельствами земледелия в регионе и указывают на его существование уже начиная с бронзового века. Большая часть полученных в рамках проекта датировок относится к раннему железному веку, эпохе великого переселения народов, раннеславянскому времени, средневековому периоду, и единичная — самая древняя — к раннему бронзовому веку (Кренке и др., 2022).

2.7.1. Палинологические свидетельства древнего производящего хозяйства в районе исследования

Помимо находок на археологических памятниках, о наличии древнего производящего хозяйства можно косвенно судить по пыльцевым спектрам. На это указывали ещё палинологи-классики (Нейштадт, 1957; Краснов, 1971), однако учение об антропогенных индикаторах в палинологии сформировалось значительно позже (Behre, Birks, 1996) и продолжает активно развиваться. Одним из ключевых антропогенных индикаторов служит пыльца культурных растений

(например, культурные злаки, *Brassica*, *Pisum*, *Cannabis*, *Fagopyrum*), полевых сорняков (например, *Centaurea cyanus*), а также доминантов пирогенных сообществ (Onagraceae) (Ершова, Кренке, Носова, 2022). Индикаторами подсечного земледелия в пыльцевых диаграммах считают резкие противофазные колебания кривых вторичных и коренных пород, синхронных с пиками древесного угля и пыльцевых индикаторов пожаров (Tolonen, 1978; Tompson et al. 2015); при этом пыльца культурных растений может отсутствовать, поскольку многие подсечные культуры производят мало или вообще не производят пыльцы (Erdtman 1969; Носова, 2009; Носова, Северова, Волкова, 2017; Poska et al. 2018).

В таблице 2 представлены данные о наличии пыльцы культурных злаков в палинологических спектрах, полученных из отложений болот и озёр, расположенных в подзоне южной подтайги (зоне смешанных лесов). Часть объектов находится на границе Смоленской и Псковской областей, в непосредственной близости от района исследования (Tarasov et al., 2018; Kittel et al., 2020); другие — в соседних регионах: Псковской (Nosova et al., 2017; 2018; Tarasov et al., 2021), Тверской (Носова, 2014) и Московской (Kremenetski et al., 2000; Miagkaia, Ershova, 2020). В подборку включены исследования с детально датированными отложениями, а все датировки перекалиброваны по шкале IntCal20.

Судя по полученным данным, во всех изученных объектах непрерывное присутствие *Cerealia* в пыльцевых спектрах отмечается в последнее тысячелетие, начиная с X века. Этому предшествуют эпизодические всплески, соответствующие эпохе великого переселения народов и дославянскому периоду. В некоторых объектах, где последние два тысячелетия представлены наименее детально (например, озеро Жижицкое (Tarasov et al., 2022)), эти всплески объединяются в одну непрерывную кривую.

Кроме того, всплески *Cerealia* наблюдаются в большинстве колонок в середине-конце I тысячелетия до н. э. и на рубеже бронзового и раннего железного веков (Nosova et al., 2014; 2017; Tarasov et al., 2019; 2022; Miagkaia, Ershova, 2020). Как правило, эти пики сопровождаются сокращением доли

древесных таксонов и увеличением доли трав и кустарничков в пыльцевых спектрах, что свидетельствует о сокращении лесных территорий.

В некоторых объектах Псковской области, включая районы близ границы Смоленской области, пыльца культурных злаков обнаружена в отложениях неолитического времени (Tarasov, 2019; Tarasov, 2022). Однако такие находки не коррелируют с уменьшением доли древесных таксонов в спектрах. Авторы интерпретируют это как свидетельство того, что, если в эти периоды на западе России и существовало производящее земледелие, оно не сопровождалось сведением лесных массивов и, вероятно, носило “огородный” характер.

Таблица 2. Появление пыльцы культурных злаков в ископаемых спорово-пыльцевых спектрах подзоны южной подтайги (зоны смешанных лесов) запада России. Интервалами приведены перекалиброванные радиоуглеродные даты (шкала IntCal20, доверительный интервал 95%); остальные датировки приведены приблизительно на основе анализа спорово-пыльцевых диаграмм.

Объект	Координаты	12-10 тыс. л. н.	10-8 тыс. л. н.	8-6 тыс. л. н.	6-4 тыс. л. н.	4-2 тыс. л. н.	2-0 тыс. л. н.	Источник
Пригородное	55°33'50"N, 31°11'51"E	—	—	—	—	—	Сер.: нач. с 664-535 по наст. вр. Sec.: 794-658	Tarasov et al., 2019
Сертейка	55°40'N, 31°32'E	—	Сер.: 8395-7972	—	Сер.: 4650-3178	—	—	Tarasov et al., 2019
Сертея 2	55°38'58"N, 31°31'38"E	нет данных	нет данных	—	Сер.: 4844- 4581	Сер.: 3644-3394	Сер.: нач. с 1420-1293 по наст. вр. Sec.:нач. с 1081-911 по наст. вр.	Tarasov et al., 2019
Змеиное	56°16'53"N, 31°15'36"E	—	—	Сер.: 7033- 6731	—	Сер.: 2968-2730 по наст. вр.	—	Tarasov et al., 2019
Коровинское	56°16'N, 31°20'E	—	—	—	—	—	Сер.: 1748-1403; с 1276-964 по наст. вр. Sec.: 1276-964; 641-430	Tarasov et al., 2019
Жижицкое	56°16'53" N, 31°15'36" E	—	—	—	Сер.: ок. 6000	—	Сер.: нач. с ок 2000 по наст. вр.	Tarasov et al., 2022
Кокоревское	57°12'16"N, 30°35'25"E	—	Сер.: 9900-9500; 8800-8400	—	—	Сер.: ок.2500-2000	Сер. 1830-1570; ок. 1250; 1059-709; нач. с 540-260 по наст. вр. Sec. ок. 300	Nosova et al., 2018
Старосельский Мох	56°28'33"N, 33°02'10"E	нет данных	нет данных	нет данных	—	Сер.: ок. 3500	Сер.: 1890-1549; нач. с 1750-1293 по наст. вр.	Носова и др., 2014
Плавница	57°6'16"N, 30°23'31"E	нет данных	нет данных	—	Сер.: ок 4500	Сер.: ок. 2300	Сер.: ок. 1500; нач. с ок .1000 по совр. Sec.: нач. с ок. 900 по совр.	Nosova et al., 2017
Долгое	56°04'N, 37°20'E	—	—	—	—	—	Сер.: нач. с 1660 по наст. вр.	Kremenetski et al., 2000
Лосиный остров	55°50'59"N, 37°50'45"E	—	—	—	—	Сер.: ок. 3500; ок. 2900-1900;	Сер.: ок. 1050-920; ок. 780; нач. с 650 по настр. вр.	Miagkaia, Ershova, 2020

Глава 3. Материалы и методы

3.1. Выбор объектов исследования

Объекты для исследования (рис. 5) были выбраны целенаправленно, а первых этапах работы была отобрана серия образцов пойменных отложений из разреза на археологическом памятнике в устье реки Катynки, где наблюдается высокая плотность археологических памятников. По предварительным ожиданиям, пыльцевые спектры с этого объекта должны были отражать локальную динамику растительности долины Днепра. Это связано с особенностями пойменных отложений, которые формируются преимущественно за счёт поступления местного пыльцевого материала. Таким образом, данные спектры скорее отразили бы историю землепользования в долине, нежели изменения зональной растительности.

Чтобы оценить степень антропогенного воздействия, была поставлена цель найти неподалёку от устья реки Катynки объект, чьи спорово-пыльцевые спектры отражали бы региональную динамику растительности, обусловленную в большей степени климатическими, а не антропогенными факторами. На основе анализа литературных данных (Археологическая карта России: Смоленская область, 2001), опубликованных космоснимков в сервисах «Яндекс.Карты» и Google Earth, а также консультаций с Н. А. Кренке, для этой цели было выбрано болото Радомский Мох. Этот объект расположен к западу от Смоленска, недалеко от границы с Беларусью, и удалён от всех известных археологических памятников.

Чтобы более полно охватить верховья Днепра и обеспечить возможность корректного и всестороннего сравнения полученных данных с аналогичными данными из бассейнов Москвы-реки и Западной Двины, на основе анализа космоснимков была выбрана серия объектов:

- Безымянное болото близ Акатовского озера, результаты исследования которого также представляли интерес для археологов из-за его близости к археологическим памятникам.

- Болото Мшары, расположенное на северо-востоке области, являющееся непосредственным истоком Днепра.
- Безымянное болото у деревни Красный Холм в Вяземском районе, которое де-факто относится к Окскому речному бассейну (из него вытекает один из притоков реки Угры).

Таким образом, сформировалась серия объектов, один из которых был предназначен для отражения локальной динамики растительности долины Днепра, а остальные четыре — региональной динамики. Объекты расположены, с одной стороны, достаточно близко друг к другу, что позволяет выявлять пространственно-временные закономерности изменений растительного покрова. С другой стороны, их удалённость друг от друга достаточно велика, чтобы результаты можно было экстраполировать на весь регион.



Рисунок 5. Карта-схема с расположением объектов исследования

3.2. Краткая характеристика объектов исследования

3.2.1. Палеорусло р. Катынки

Река Катынка вытекает из Купринского озера ледникового происхождения, протянувшегося на 6 км с северо-запада на юго-восток и шириной около 1 км. Длина русла Катынки, впадающей в Днепр, составляет не более 5 км.

Первые археологические памятники в долине Катынки были обнаружены в начале XX века (Лявданский, 1927), а во второй половине столетия выявлены объекты, относящиеся к мезолиту, железному веку и средневековью (Третьяков, 1972а; 1972б; 1973; 1975; Шмидт, 1976). Сейчас здесь сосредоточено более 20 памятников, что делает долину Катынки регионом с самой высокой плотностью археологических объектов в Смоленской области. Мезо- и неолитические памятники преимущественно находятся в среднем течении реки, а памятники железного века и средневековья сосредоточены у её устья (рисунок 6).



Рисунок 6. Карта-схема с расположением объекта исследования и археологических памятников вокруг него

В 2017 году Смоленская археологическая экспедиция Института археологии РАН совместно с геоморфологами из Лодзинского университета (Польша) и палинологами из МГУ провела комплексное исследование устья реки Катынки. В ходе бурений в пойме на правом берегу, в 60 м от современного устья, была обнаружена палеостарица Катынки. Керн озёрных отложений из неё отобрали для радиоуглеродного датирования и палинологических исследований. На Рисунке 7 каплевидным знаком на современном космоснимке отмечена точка отбора проб. Результаты исследований подробно представлены в публикации (Ershova et al., 2020) и в разделе 4.1.



Рисунок 7. Космоснимок 2018 г. с отметкой точки отбора проб в долине р. Катынки, близ её устья.

3.2.2. Болото Радомский Мох

Этот объект был выбран как противоположность предыдущему: в долине Катынки количество археологических памятников достигает десятков, тогда как ближайший к урочищу Радомский Мох памятник — курган Комиссарово, обнаруженный в начале XX века у одноимённой деревни (Краснов и др., 1997) — расположен в 8 км.

Болото находится в 50 км к западу от Смоленска, на водоразделе рек Радомка и Березина, в 1 км к северу от Днепра. Оно расположено около 32 км на запад от первого объекта, что, согласно модели Х. Таубера (Tauber, 1967), предполагает схожесть регионального сигнала в палинологических спектрах при различии локального. Это делает объект ценным для разделения климатического и антропогенного влияния на ландшафты региона.

После войны большая часть болота подверглась торфоразработкам, что существенно изменило его контуры. Для отбора проб был выбран ненарушенный участок болота на окраине (рис. 8). На старых трёхверстовых картах Шуберта и топографических картах начала XX века признаки торфодобычи отсутствуют. Впервые они отмечены в Атласе Смоленской области, изданном к 1100-летию Смоленска, где болото указано как торфяное месторождение (Васильев, 1964). По данным современных космоснимков, его площадь составляет около 10 км².

Согласно карте четвертичных отложений Смоленской области (рис. 9) и данным геологических изысканий (Васильев, 1964; Фаустова, Чеботарева, 1969), Радомский Мох находится у южной границы валдайского оледенения. Точное положение границы ледника остаётся неясным: шаг бурений в исследованиях был значительным, а погрешность установленных границ достигает десятков километров (Величко и др., 2005; Шик, 2010).

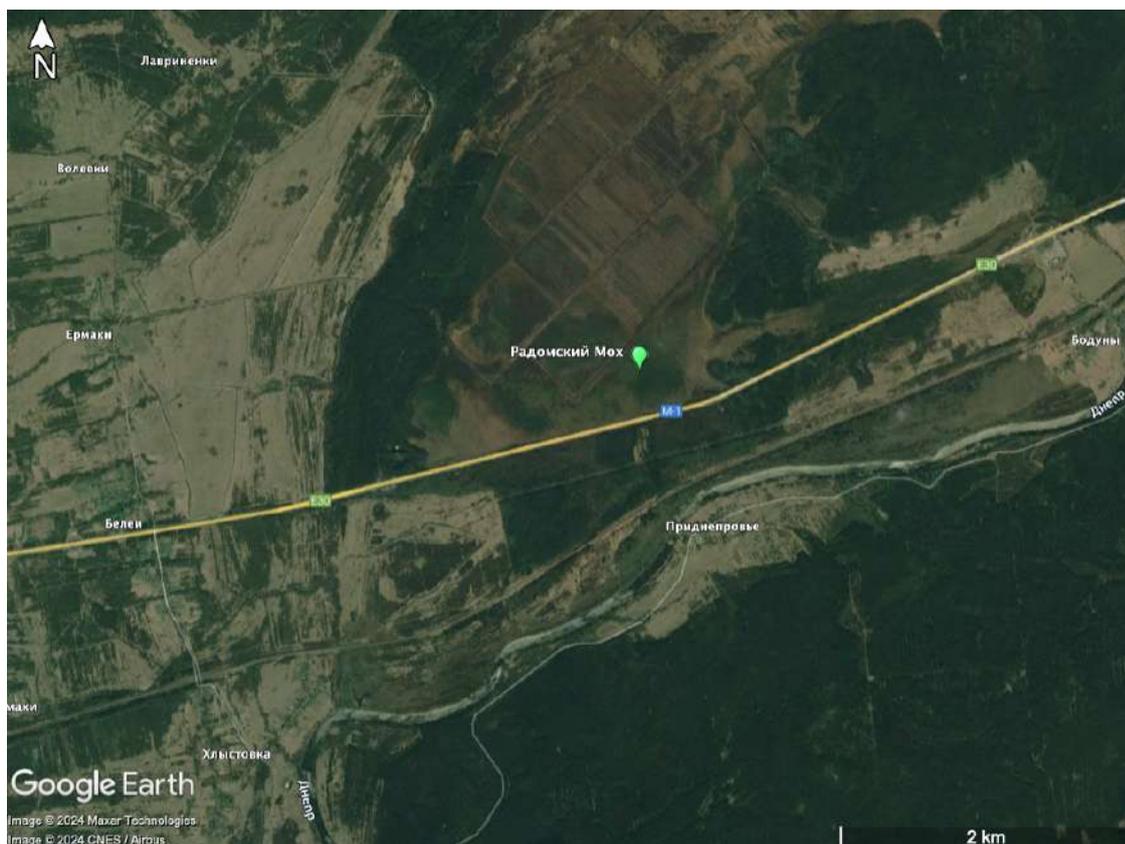


Рисунок 8. Космоснимок 2020 г. с отметкой точки отбора проб в урочище Радомский Мох.

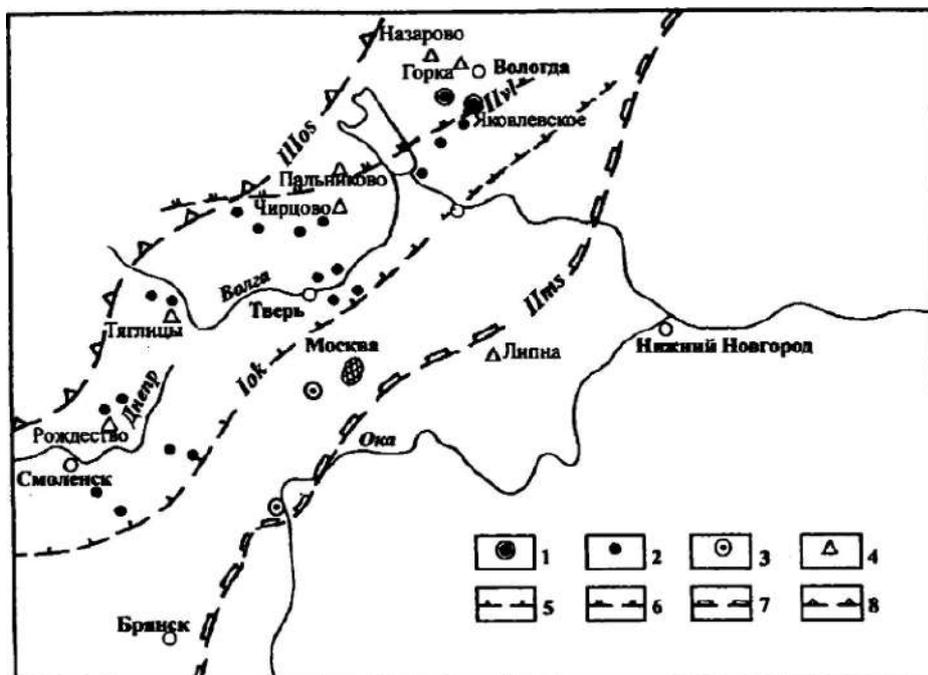


Рисунок 9. Разрезы лихвинских межледниковых отложений (по Шик, 2010):
 1 - озерных, под двумя моренами, 2 - озерных, под одной мореной, 3 - аллювиальных, под одной мореной. 4 - Разрезы горкинских межледниковых отложений. Границы распространения ледников: 5 - окского, 6 - вологодского, 7 - московского, 8 - поздневалдайского (ошашковского).

3.2.3. Болото близ Акатовского озера

Безымянное болото близ Акатовского расположено в 43 км на северо-северо-запад от Смоленска, в Демидовском районе Смоленской области, на границе национального парка «Смоленское Поозерье». Это небольшое болото, сформировавшееся в понижении рельефа. Оно отделено от соседних озёр — Карец и Акатовского — узкими повышениями рельефа шириной 50–100 м (рисунок 10).



Рисунок 10. Космоснимок 2020 г. с отметкой точки отбора проб в безымянном болоте близ Акатовского озера. Само болото облеснено, для удобства оно обведено овалом.

Литературные данные о происхождении именно этого болота отсутствуют. Согласно карте четвертичных отложений (Васильев, 1964; Фаустова, Чеботарева, 1969), граница последнего оледенения проходила через территорию «Смоленского Поозерья». Однако точное положение границ ледника относительно данного болота установить не удалось.

Болото расположено в понижении рельефа и окружено фрагментом смешанного елово-широколиственного леса с высокой долей широколиственных пород. По его границе обильно произрастает ольха чёрная (*Alnus glutinosa*). Само болото сильно облесено: на нём растут берёзы (*Betula verrucosa* и *Betula pubescens*) высотой до 15 м; реже встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) высотой около 5 м.

В травяно-кустарничковом ярусе преобладают сфагновые мхи (в основном *Sphagnum magellanicum*), осоки (*Carex vesicaria*) и злаки (например, *Phalaris arundinacea*), формирующие кочки. К кочкам корневищных растений и приствольным возвышениям тяготеют кустарнички из семейства вересковых (*Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*). В мочажинах встречаются пузырчатка (*Utricularia vulgaris*) и хвощ (*Equisetum palustre*).

3.2.4. Болото Мшары (исток р. Днепр)

Болото Мшара, или Мшары, или урочище Аксёнинский Мох, исток реки Днепр, — крупное верховое болото площадью около 3 км², практически не затронутое торфоразработками или иными нарушениями, что нетипично для исследуемого региона. Оно расположено на северо-востоке Смоленской области, в Сычёвском районе, неподалёку от границы с Тверской областью, примерно в 5 км западнее деревни Бочарово и в 1,9 км южнее деревни Дудкино (по данным переписи 2010 года, население Дудкино составляло 2 человека).

Болото находилось за пределами валдайского оледенения, но внутри границ московского (Васильев, 1964; Фаустова, Чеботарева, 1969). Анализ космоснимков (рис. 11) позволяет предположить, что оно сформировалось на месте заросшего озера. На снимках отчётливо видны элементы грядово-мочажинного комплекса, а также “сползание” западной половины болота в направлении истока Днепра. Чтобы избежать искажений стратиграфии, связанных с возможным смещением отложений, для отбора проб выбрали наиболее центральную часть болота, расположенную чуть в стороне от грядово-мочажинного комплекса.

Современное болото окружено зарастающими полями с порослью берёзы (*Betula verrucosa*). По обводнённым окраинам болота сформировался ольшанник с доминированием *Alnus glutinosa* в древесном ярусе. Между ольшанником и непосредственно верховым болотом обильны топи, где преобладают белокрыльник болотный (*Calla palustris*) и вахта трёхлистная (*Menyanthes trifoliata*).

Растительность верхового болота представлена в основном мхами (*Sphagnum fallax*), а в мочажинах — *Sph. magellanicum* и другими видами. В древесном ярусе болота встречаются сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), высотой до 2 м, и реже берёзы (*B. alba* и *B. verrucosa*) примерно той же высоты.

Травяно-кустарничковый ярус болота отличается значительным разнообразием. На некоторых участках встречаются пятна пушицы (*Eriophorum vaginatum*, реже *E. polystachion*), в других местах кочки образованы осоками (*Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*, *C. limosa*, реже *C. nigra* и *C. verrucosa*). Кустарнички семейства вересковых (Ericaceae) обильны и включают как стелющиеся виды (*Vaccinium oxycoccos*, реже *V. macrocarpon*), так и прямостоячие (*Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Vaccinium uliginosum*).



Рисунок 11. Космоснимок 2020 г. с отметкой точки отбора проб в болоте Мшары (исток р. Днепр).

3.2.5. Безымянное болото близ деревни Красный Холм

Болото расположено в 13 км к югу от города Вязьма, с его юго-западной стороны прилегает деревня Красный Холм (рис. 12). Само болото не имеет названия на картах. *Sensu stricto* оно относится к бассейну реки Оки: из его северо-восточной части вытекает река Лосьминка, которая течёт в восточном направлении и впадает в реку Вороновку, а затем в реку Угру. Однако реки, берущие начало в этом же районе и текущие в западном и северном направлениях, относятся к бассейну Днепра.

Эта особенность делает результаты палеоэкологического исследования данного объекта особенно ценными для сравнительного анализа истории растительности Смоленской области с более восточными регионами, в частности Московской областью.

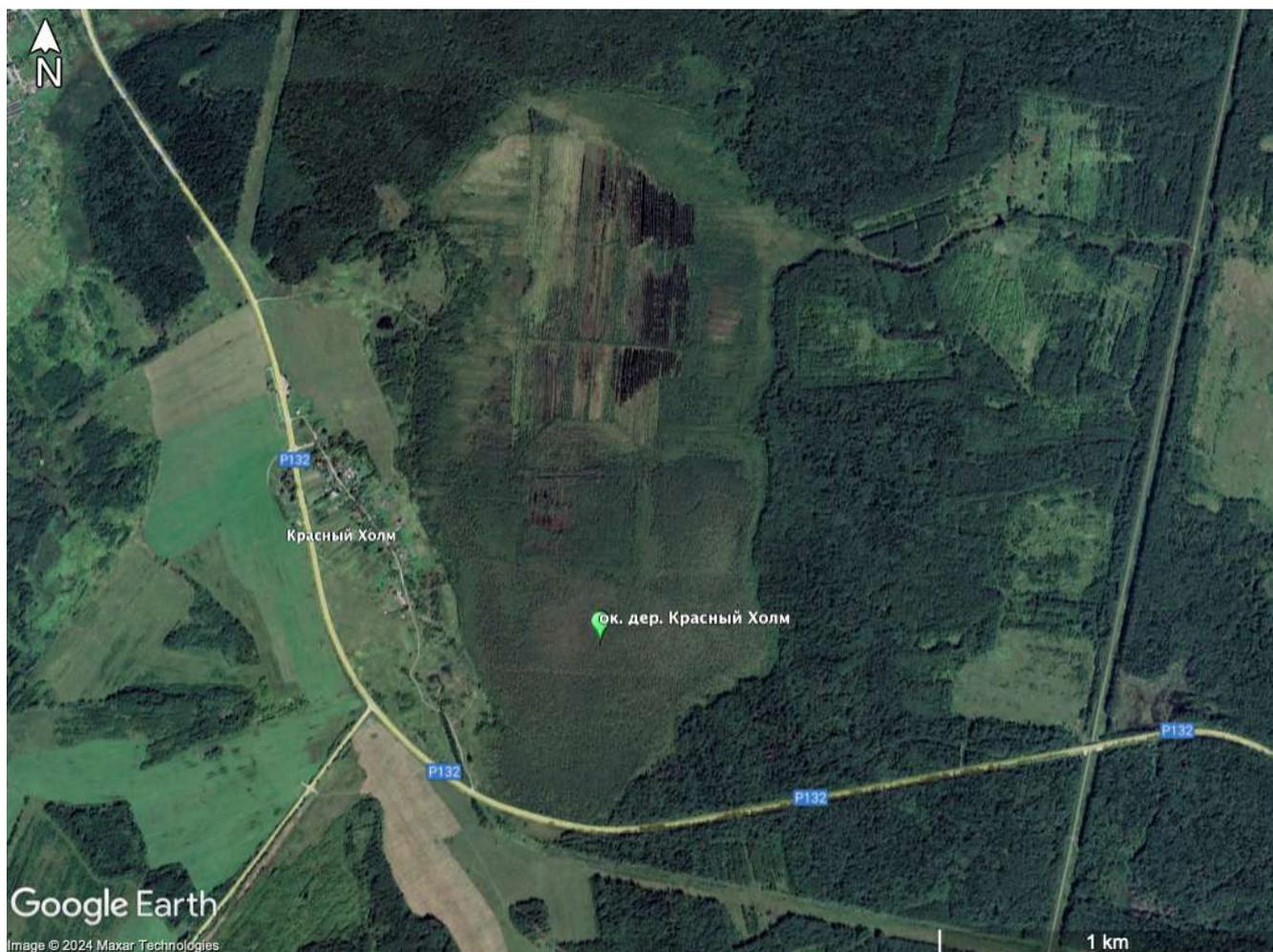


Рисунок 12. Космоснимок 2020 г. с отметкой точки отбора проб в болоте Мшары (исток р. Днепр).

Северная часть болота частично осушена и сейчас покрыта рядами сосен (*Pinus sylvestris*), что напоминает проекты В. Н. Сукачёва по мелиорации болотных угодий. Малонарушенная южная часть болота, в которой был произведён отбор проб, напоминает классическое облесенное верховое болото. С юга и запада оно окружено заболоченным лесом с преобладанием ели (*Picea abies*) и берёзы (*Betula verrucosa*), непосредственно на болоте встречаются разреженные сосны (*Pinus sylvestris*), высотой до 2 м), на кочках растут вересковые кустарнички (*Andromeda polifolia*, *Vaccinium uliginosum*, *Chamaedaphne calyculata*), в понижениях — пушица (*Eriophorum vaginatum*). Преобладают в растительном покрове комплекс видов сфагновых мхов, характерных для верховых болот (*S. magellanicum*, *S. fallax* и др.).

3.3. Отбор проб

Методы отбора проб были адаптированы к особенностям отложений каждого объекта. Для устья реки Катунки образцы отбирали из серии из 11 бурений, проведённых с использованием почвенного бура, а также из археологических раскопов. Для спорово-пыльцевого анализа были использованы только старичные отложения и погребённые почвы, отобранные из кернов.

Торфяные отложения болот отбирались с помощью русского торфяного бура. Места для отбора проб определялись по космоснимкам, а центральное положение водоёма уточнялось с помощью GPS-навигатора в реальном времени. Нарезка торфяных кернов на отрезки проводилась непосредственно в поле. Шаг отбора зависел от плотности отложений: более плотные слои отбирались с меньшим шагом, менее плотные — с большим (Табл. 3).

Литологический анализ отложений каждой колонки проводился глазомерным методом на месте отбора.

3.4. Лабораторные исследования

Подготовка проб к микроскопированию проводилась по стандартной методике (Moore et al., 1991) с небольшими модификациями. Из каждого образца отбирали около 1 см³ материала. Образцы помещали в индивидуальные 15 мл пробирки Falcon, после чего варили в 20%-м растворе КОН в течение 30 минут.

Таблица 3. Перечень объектов исследования и их краткая характеристика

Объект исследования	Ближайший населенный пункт	Географические координаты точки отбора проб	Детальность отбора проб (ср.)	Глубина отбора проб
Катынка	Катынь и Школьный	54°45'56"N, 31°42'23"E	2 см	0–375 см
Радомский Мох	Гусино и Комиссарово	54°42'39"N, 31°13'17"E	2,5 см	0–182 см
Акатово	Акатово	55°9'3"N, 31°48'15"E	5 см	40–300 см
Аксёнинский Мох (Мшары)	Бочарово	55°51'37"N, 33°43'7"E	2,5 см	0–346 см
Красный Холм (Вязьма)	Красный Холм	55°5'5"N, 34°20'41"E	2,5 см	20–102 см

Для большинства образцов такая обработка была достаточной: пыльцевые зёрна приобретали контрастную жёлто-зелёную окраску за счёт реакции щёлочи со споропелином, что облегчало их таксономическую идентификацию. Поверхностные образцы дополнительно процеживали после обработки щёлочью.

Из донных образцов с высоким содержанием минеральной фракции пыльца выделялась с помощью тяжёлой жидкости — раствора комплексной соли вольфрама плотностью 2,2 г/см³. После обработки в щёлочи образцы нейтрализовали через 3–5 циклов промывки (центрифугирования с дистиллированной водой).

Микроскопирование. Каждый образец изучался с использованием микроскопов Carl Zeiss PrimoStar или Микромед 3 вар. 3-20 (увеличение 10×40). Для каждого образца идентифицировали не менее 250 пыльцевых зёрен, не считая спор папоротников и мхов, которые также учитывались. Хотя отечественная школа спорово-пыльцевого анализа придерживается стандарта в 500 зёрен, последние исследования (Djamali, Cilleros, 2020) показали, что для голоценовых отложений достаточно учитывать 150 зёрен для определения 90% таксонов.

Микрофотографии образцов готовили с использованием камеры ADF STD 10 и ПО ADF ImageCapture.

Дополнительные исследования:

1. Для отложений из урочища Радомский Мох проводили ботанический анализ макроостатков по методике Куликовой (1977).
2. Для выявления стадий пересыхания отложений из болот близ деревни Красный Холм и Мшары (истока Днепра) был выполнен анализ потерь органического вещества при прокаливании (Loss of Ignition) по стандартному протоколу (Santisteban et al., 2004).

3.5. Математическая обработка данных

Сведение данных спорово-пыльцевого анализа проводилось с использованием Microsoft Excel и Google Таблиц. Преобразование данных (расчёт пропорций представленности таксонов в спектре), построение расширенных пыльцевых диаграмм и иерархический кластерный анализ выполнены с помощью программы TiliaIT v.2.61.

Расчёт процентов:

- Проценты для семенных растений вычислялись от суммы всех пыльцевых зёрен (за вычетом спор).
- Проценты для споровых растений — от суммы всех выявленных палиноморф.

Кластерный анализ:

- Выделение зон в спорово-пыльцевых колонках проводилось методом иерархического кластерного анализа с учётом стратиграфии. За основу расчётов были выбраны суммы квадратов расстояний.
- Споровые и водные растения, а также таксоны с долей менее 0,5% в спектре были исключены из анализа.

Хронологическая привязка. Для калибровки радиоуглеродных дат образцов использовались байесовские алгоритмы в программе OxCal v.4.4 (Ramsey 2008; Ramsey, Lee 2013) и пакете R Bacon (v.3.3.1). Основой для моделей накопления отложений стали AMS-радиоуглеродные даты, полученные в лаборатории Оттавского университета (A.E. Lalonde AMS Laboratory, University of Ottawa).

Радиоуглеродные даты откалиброваны по шкале IntCal20 (Reimer, 2020), предназначенной для материковых отложений северного полушария. Для построения хронологии использовались медианные значения моделированных дат.

Климатические реконструкции были выполнены с помощью метода подбора современных аналогов (Modern Analogues Technique, MAT) в программе C2 v.1.7.1 (Juggins, 2007). Основой реконструкций стали поверхностные пыльцевые спектры из European Modern Pollen Database (EMPD). Для большей релевантности данных из базы студентка магистратуры кафедры экологии и географии растений Александра Мягкая собрала датасет поверхностных образцов, релевантный для реконструкций палеоклимата Восточной Европы.

Реконструкция биомов. Количественная реконструкция биомов проведена для двух объектов (болото Мшара и болото близ деревни Красный Холм), чьи данные охватывали весь поздний голоцен. Математические преобразования данных выполнены в Microsoft Excel. Для отнесения таксонов к биомам использовалась схема, адаптированная для Северной Евразии и апробированная на данных из Псковской области (таблица 4) (Tarasov et al., 2022).

Таблица 4. Таксоны наземных растений, встречающихся в пыльцевых позднеголоценовых средней полосы России, и их отнесение к биомам (по Tarasov et al., 1998; 2022).

Биом	Таксоны
Tundra	<i>Betula</i> sect. <i>Nanae</i> , Ericales, <i>Salix</i> , Cyperaceae, Poaceae, Polygonaceae
Cold deciduous forest	<i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , Ericales, <i>Salix</i> ,
Taiga	<i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> sp., <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , Ericales, <i>Salix</i>
Cold mixed forest	<i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> sp., <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Fagus</i> , Ericales, <i>Salix</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i>
Cool conifer forest	<i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> sp., <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Fagus</i> , Ericales, <i>Salix</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i>
Temperate deciduous forest	<i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> sp., <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Fraxinus</i> , Ericales, <i>Quercus</i> , <i>Salix</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i>
Cool mixed forest	<i>Picea</i> , <i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Fraxinus</i> , Ericales, <i>Quercus</i> (<i>deciduous</i>), <i>Salix</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i>
Warm mixed forest	<i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Carpinus</i> , <i>Corylus</i> , <i>Fagus</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Salix</i> , <i>Tilia</i> , <i>Ulmus</i>
Desert	<i>Artemisia</i> , <i>Chenopodiaceae</i> , <i>Ephedra</i> , <i>Polygonaceae</i>
Stepp	<i>Apiaceae</i> , <i>Artemisia</i> , Asteraceae (Asteroideae), Asteraceae (Cichorioideae), Brassicaceae, Cannabaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Fabaceae, <i>Hippophae</i> , Lamiaceae, Liliaceae, Onagraceae, <i>Plantago</i> , Poaceae, Polygonaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Rubiaceae

Глава 4. Позднеголоценовая динамика растительности бассейна верхнего течения Днепра

4.1. Палеоруло р. Катынки

В 2017 году в устье реки Катынки начались комплексные археолого-палеогеографические исследования, целью которых стала реконструкция динамики растительности. Для выполнения спорово-пыльцевого анализа был отобран керн старичных отложений из скважины КТ5, а также образцы почв из серии шурфов (рис. 13). Для радиоуглеродного датирования были использованы угли, найденные в погребённых почвах, и неразложившиеся органические остатки из старичных отложений. Полученные данные легли в основу реконструкции динамики растительности и оценки антропогенного воздействия в долине Катынки.

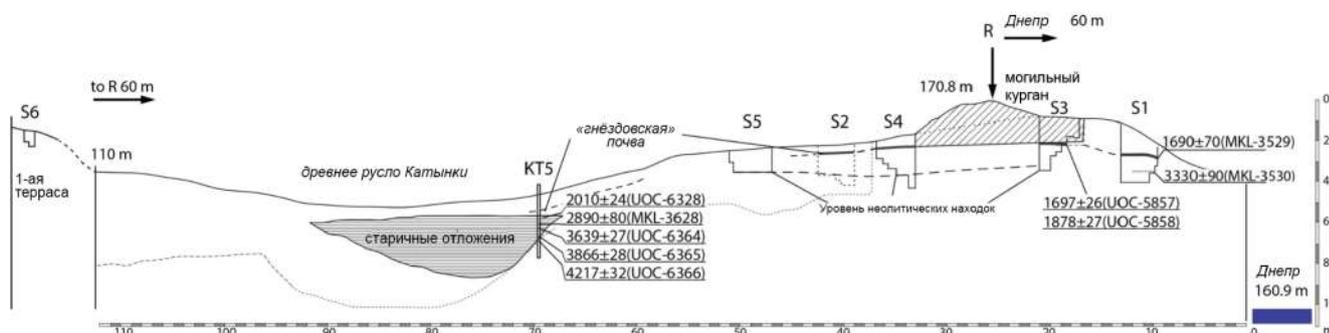


Рисунок 13. Схема устройства древней долины р. Катынки и расположение точек отбора проб

4.1.1. Результаты радиоуглеродного датирования

В ходе исследования было получено 9 радиоуглеродных дат (рис. 14), из которых 4 относятся к старичным отложениям. Возраст самого нижнего образца, содержащего песок и предшествующего по стратиграфии старичным отложениям, составил 4843–4709 кал. л. н. Непрерывность стратиграфии старичных отложений

Результаты представленного к защите исследования опубликованы в 6 статьях, из которых 3 соответствуют требованиям, предъявляемым к защите в Диссертационном совете МГУ.015.3 по специальности 1.5.15 — Экология и.

В публикации [1] личный вклад соискателя составил 0.15 из 0.16 п.л.; в публикации [2] — 0.17 п.л. из 0.73 п.л., в публикации [3] — 0.21 из 0.28 п.л.

подтверждена последовательными датировками вышележащих образцов. Это позволяет использовать старичные отложения для надежной реконструкции локальной динамики растительности в долине Катynки.

4.1.2. Результаты спорово-пыльцевого анализа

Почвенные шурфы. Пыльца была обнаружена не во всех образцах, взятых из почвенных шурфов, что объясняется неблагоприятными условиями для её сохранения в аллювиальных отложениях (Porley, 2001). Тем не менее, в шурфах 2 и 3, из погребенной средневековой почвы (т. н. «гнёздовской» почвы), удалось выделить достаточное для статистического анализа количество пыльцевых зерен (рис. 14). Для полученных пыльцевых спектров характерны (1) абсолютное преобладание пыльцы *Betula*, (2) высокое содержание и разнообразие пыльцы трав (включая луговые и рудеральные таксоны, а также виды, характерные для лесных послепожарных сукцессий, такие как *Onagraceae* и *Pteridium*), а также (3) небольшое, но постоянное присутствие пыльцы культурных злаков. В образцах, взятых из шурфов 1 и 8, а также из аллювия с находками неолитических культур, пыльца не была выделена, вероятно, из-за неблагоприятных условий сохранности.

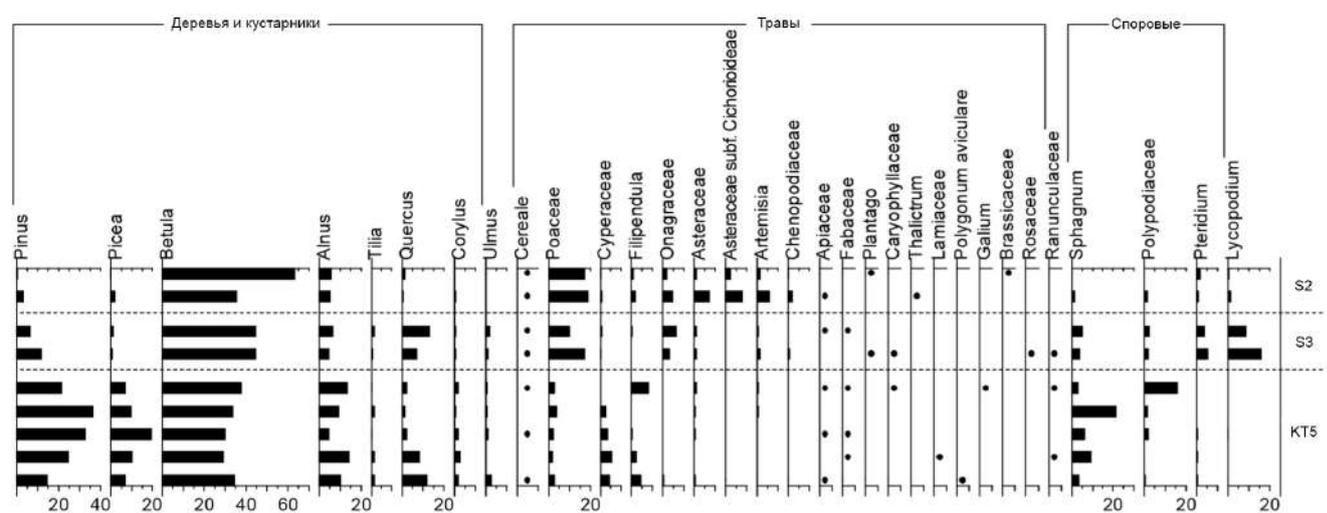


Рисунок 14. Пыльцевые спектры погребённой почвы из археологических раскопов (S2, S3) и скважины (KT5).

Старичные отложения. Результаты пыльцевого и радиоуглеродного анализа старичных отложений, вскрытых скважиной КТ5, представлены на рис. 15.

На пыльцевой диаграмме выделено четыре контрастные зоны (LPZ), отражающие этапы смены экосистем поймы Днепра.

LPZ 1 (290–375 см, до 4500 л. н.), период функционирования древнего русла (рукава) или старицы р. Катynки. Пыльцевые спектры характеризуются преобладанием лиственных деревьев (*Alnus*, *Betula*, *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia* в сумме до 90%) с небольшой примесью ели (*Picea*). Доля трав составляет менее 10%, включая луговые растения (Poaceae, *Filipendula*, Fabaceae, Asteraceae) и индикаторы антропогенных нарушений (*Artemisia*, *Cichorium*, *Rumex*). Присутствие микроскопического угля может указывать на деятельность неолитического населения.

LPZ 2 (70–290 см, около 4500–2500 л. н.), фаза низинного древесного торфообразования. Активное формирование торфяной залежи свидетельствует об изменении гидрологического режима. Вероятно, старица стала полностью изолирована от реки, что инициировало процессы болотообразования. В пыльцевых спектрах доминирует пыльца дуба (*Quercus*, 40–60%) с небольшой примесью других лиственных пород (*Alnus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus*) и травянистых растений, характерных для влажных местообитаний (*Sparganium*, *Comarum palustre*, *Filipendula*, *Urtica*). На позднем этапе периода (3200–2500 л. н.) фиксируется пересыхание старицы и прекращение торфонакопления. Уровень с признаками пожарных нарушений (пыльца Onagraceae, *Chenopodium* и микроскопический уголь) может быть синхронен угольному горизонту бронзового века из шурфа 1 (см. MKL-3530 на рис. 13).

LPZ 3 (30–60 см, 2000–800 л. н.), период формирования погребенной “гнездовской” почвы. Спектры характеризуются исчезновением коренных видов широколиственных лесов (*Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*), доминированием берёзы (*Betula*) с примесью сосны (*Pinus*) и обилием недревесных растений, включая индикаторы пожарниц (Onagraceae, споры *Marchantia*), луговые травы (*Galium*, Apiaceae, Ranunculaceae, Lamiaceae, *Filipendula*, Caryophyllaceae, Asteraceae, Fabaceae, Superaceae), сорняки (*Centaurea cyanus*, *Polygonum aviculare*, *Artemisia*, *Xanthium*, Cichorioideae-type) и Cerealia. Микроскопический уголь также присутствует в

значительном количестве. Увеличивается доля спор *Sphagnum*, *Lycopodium* и *Pteridium*.

Схожие спектры были выявлены в образцах из погребенной почвы, вскрытой археологическими шурфами 1, 2, 3, 4 и 8.

LPZ 4. Современная луговая почва, сформировавшаяся в течение последних нескольких столетий на речном аллювии, перекрывающем «гнездовскую» почву. В поверхностных пыльцевых спектрах из деревьев остается только сосна (*Pinus*) с примесью берёзы (*Betula*) и ольхи (*Alnus*), значительно возрастает доля (до 30%) и таксономическое разнообразие пыльцы луговых трав, сорняков и культурных таксонов. Также обильно участие спор папоротников, плаунов и мхов, среди которых много древних переотложенных форм, что является характерным признаком аллювиальных почв. В верхнем горизонте почвы отмечены споры печеночного мха *Riccia glauca*, являющегося индикатором зарастающей пашни (Бакуменко, Ершова, 2022).

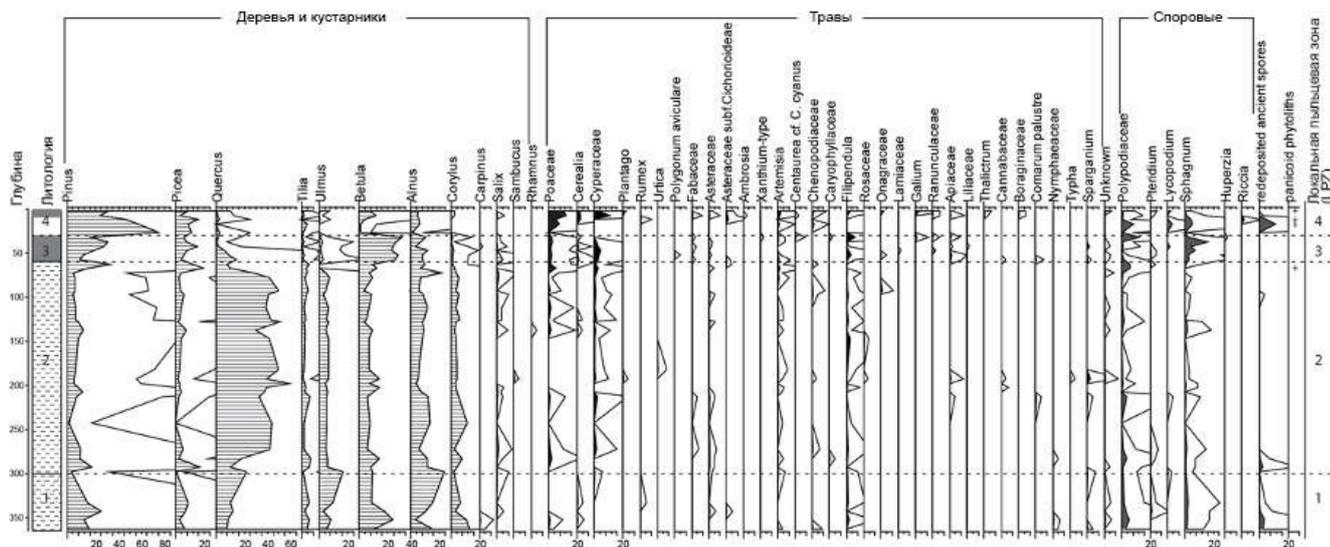


Рисунок 15. Пыльцевые спектры старичных отложений из скважины КТ 5

4.1.3. Заключение

Первые результаты палеогеографических исследований в устье р. Катинки позволили реконструировать стратиграфию пойменных отложений, приуроченные к ним археологические находки и динамику растительности поймы Днепра за

последние 5000 лет. Установлено, что с начала заболачивания старицы около 4500 л. н. и до её пересыхания здесь доминировали пойменные дубравы, включавшие *Alnus glutinosa*, *Ulmus*, *Tilia* и *Corylus*. Под пологом этих лесов росли *Humulus* и травы, характерные для влажных эвтрофных местообитаний. Примерно 3000 лет назад старица начала пересыхать, а позже на её месте сформировалась почва, обнаруженная во всех изученных шурфах. Её формирование датируется 2000–1000 л. н., а к её верхнему горизонту относятся археологические находки X–XII вв. Позднее паводковая активность погребла почву под слоем аллювия, на котором образовалась современная луговая почва.

Палеоботанический анализ выявил следы хозяйственной деятельности неолитического населения (уголь, пыльца рудеральных растений). Однако наиболее значимые антропогенные изменения ландшафтов связаны с формированием позднеголоценовой «гнездовской» почвы. Сочетание в пыльцевых спектрах таксонов из разных эколого-ценотических групп свидетельствует о чередующихся этапах сведения леса и его частичного восстановления. Радиоуглеродные даты угольков из этой почвы (1690 ± 70 (ель), 1878 ± 27 (дуб) и 1697 ± 26 (ель) ^{14}C л. н.) подтверждают многократные случаи выжигания леса.

Полученные результаты согласуются с данными исследований погребенных почв гнездовского времени в пойме р. Ольшанки (рядом с Ольшанским городищем), под курганами Днепровской курганной группы (Зозуля, 2018) и под средневековым слоем на Соборной горе в Смоленске (Ершова, Кренке, 2017; Ершова, 2019; Кренке и др., 2022).

4.2. Урочище Радомский Мох

Урочище Радомский Мох включено в список исследуемых объектов для того, чтобы дополнить данные, полученные из района с высокой концентрацией археологических памятников. В отличие от долины реки Катynки, где плотность археологических объектов достигает десятков, ближайший памятник к Радомскому Мху — курган Комиссарово — находится в 8 км к востоку (Краснов, Михальченко, Патрик, 1997). Таким образом, этот объект представляет собой идеальную точку для изучения динамики растительности, обусловленной преимущественно природными факторами, с минимальным влиянием антропогенной деятельности.

Причина выбора Радомского Мха заключалась в его относительной близости к ранее исследованным объектам в бассейне Днепра, таких как устье Катynки, результаты исследования которого изложены в разделе 4.1., и одновременно удалённости от известных археологических памятников. Это позволило бы провести сравнение данных и выделить климатический сигнал в пыльцевых спектрах, который иначе был бы замаскирован антропогенным воздействием. Таким образом, реконструкция динамики растительности региона на основе материалов из Радомского Мха может быть использована как эталон для оценки антропогенного влияния на других объектах.

Радомский Мох находится в Краснинском районе Смоленской области, в 50 км к западу от Смоленска и в 12 км от российско-белорусской границы, близ населённых пунктов Бадуны и Гусино (рис. 16). Болото расположено на водоразделе рек Радомки и Березины, в 1 км к северу от современного русла Днепра. Его площадь составляет около 8 км².

Ландшафт болота подвергся значительным изменениям в XX веке. Во время Великой Отечественной войны в окрестностях Радомского Мха велись активные боевые действия, что отразилось на окружающей территории. В послевоенные годы значительная часть болота была осушена в результате торфоразработок, изменивших его первоначальные контуры. Для отбора проб была выбрана точка, максимально удалённая как от края болота, так и от старых дренажных канав. Такой выбор точки отбора проб позволил избежать нарушения стратиграфии отложений,

которое неизбежно возникает при торфоразработках, и обеспечить более высокое качество палеоэкологических реконструкций.

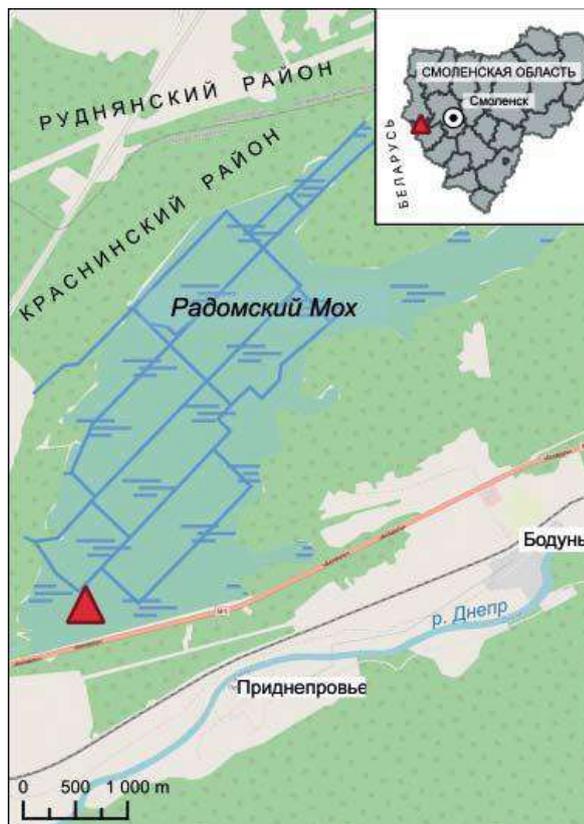


Рисунок 16. Карта-схема района исследования. Точка отбора проб отмечена красным треугольником

4.2.1. Литологический анализ

Глазомерный литологический анализ, проведённый в полевых условиях и дополненный микроскопическим изучением в лаборатории, позволил детализировать состав и особенности отложений. Нижние 30 см колонки (глубина 154–183 см) представлены озёрными глинами, свидетельствующими о стадии озера в истории болота. Выше (140–154 см) залегает слой сапропеля, который фиксирует переходный этап от водного к болотному ландшафту. Основной объём отложений (8–140 см) составляют торфы, различающиеся по типу и степени разложения.

- Нижний слой торфов (125–140 см) состоит из низинного торфа с высокой степенью разложения.
- Средний слой (70–125 см) представлен переходным торфом с умеренно высокой степенью разложения.

- Верхний слой (8–70 см) состоит из слабо разложившегося верхового торфа сфагново-осокового типа.

Особый интерес представляют слои, обогащённые древесными углями, обнаруженные на уровнях 177, 160 и 155 см. Эти угли (как микро-, так и макроскопические) могут свидетельствовать о эпизодических пожарах или иной антропогенной деятельности, вызвавшей изменения ландшафта.

Для уточнения особенностей растительности и условий торфонакопления отложения дополнительно изучались методом ботанического анализа макроостатков.

4.2.2. Результаты радиоуглеродного датирования и моделирования накопления отложений

Из 72 отобранных образцов три были отправлены на AMS-радиоуглеродное датирование, результаты которого представлены в таблице 5. На основе полученных дат и даты отбора рецентного образца была построена модель накопления отложений (рис. 17) с использованием байесовских вычислений. Модель учитывала разницу в литологии и позволила датировать каждый образец.

Согласно модели, скорость накопления отложений была нелинейной:

- 183–130 см: интенсивный накопительный период, 1 см формировался около 13 лет;
- 130–50 см: более медленное накопление, 1 см — около 25 лет;
- 0–50 см: скорость вновь увеличивается, 1 см формировался около 10 лет.

В ходе подготовки образцов к радиоуглеродному анализу специалисты из Оттавского университета обнаружили примесь эолового песка в образце с глубины 50–52,5 см, что нехарактерно для водно-болотных отложений.

Совмещение результатов хронологии, литологического и ботанического анализов позволило выделить четыре ключевые стадии развития водоёма:

1. До 3000 л. н.: Водоём функционировал как озеро.

2. 3000–2500 л. н.: Началось заболачивание, связанное с серией пожаров; по окраинам озера сформировались заболоченные леса с преобладанием ольхи.
3. 2500–1200 л. н.: Водоём находился в стадии облесённого переходного болота с постепенной олиготрофизацией.
4. С 1200 л. н. по настоящее время: Водоём перешёл в стадию олиго-мезотрофного болота.

Эти стадии отражают последовательное изменение гидрологических условий и ландшафта, характеризуя долгосрочную экологическую динамику урочища Радомский Мох.

Таблица 5. Результаты AMS-радиоуглеродного датирования образцов из урочища Радомский Мох

Лабораторный номер	Материал	Глубина, см	Радиоуглеродная дата, ^{14}C л. н.	Калиброванная дата, кал. л. н. (2 σ)
УОС-15216	торф	50–52,5	588 ± 27	647–540
УОС-13723	торф	130–132,5	2654 ± 27	2846–2737
УОС-13724	уголь	162,5–165	2936 ± 26	3173–2969

4.2.3. Результаты спорово-пыльцевого анализа

Результаты спорово-пыльцевого анализа и кластерного анализа позволили выделить пять зон, отражающих ключевые этапы динамики растительности в исследуемом регионе. Полная спорово-пыльцевая диаграмма представлена в приложении 1, сокращенная — на рисунке 18.

Зона 1 (до 2900 л. н.). Этап характеризуется обилием видов широколиственных лесов, включая *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia* и *Corylus*. Их суммарная доля в пыльцевом спектре достигает до 40 %. Присутствие пыльцы трав отмечается с самого начала этапа. Среди трав выделяются индикаторы осветления лесов, такие как *Asteraceae*, *Artemisia*, *Lamiaceae*, *Apiaceae*, а также выпаса (*Plantago major*).

Особенностью этапа является периодический рост доли пыльцы ольхи (*Alnus*), начиная с 3200 л. н., где она увеличивается с 10 до 25 %. Этот рост коррелирует с присутствием микроскопического угля, что может свидетельствовать о лесных пожарах или антропогенной деятельности. На уровне около 3200 л. н. доля спор сфагнома достигает своего максимума (до 20 %), но к концу периода (2900 л. н.) снижается до минимума.

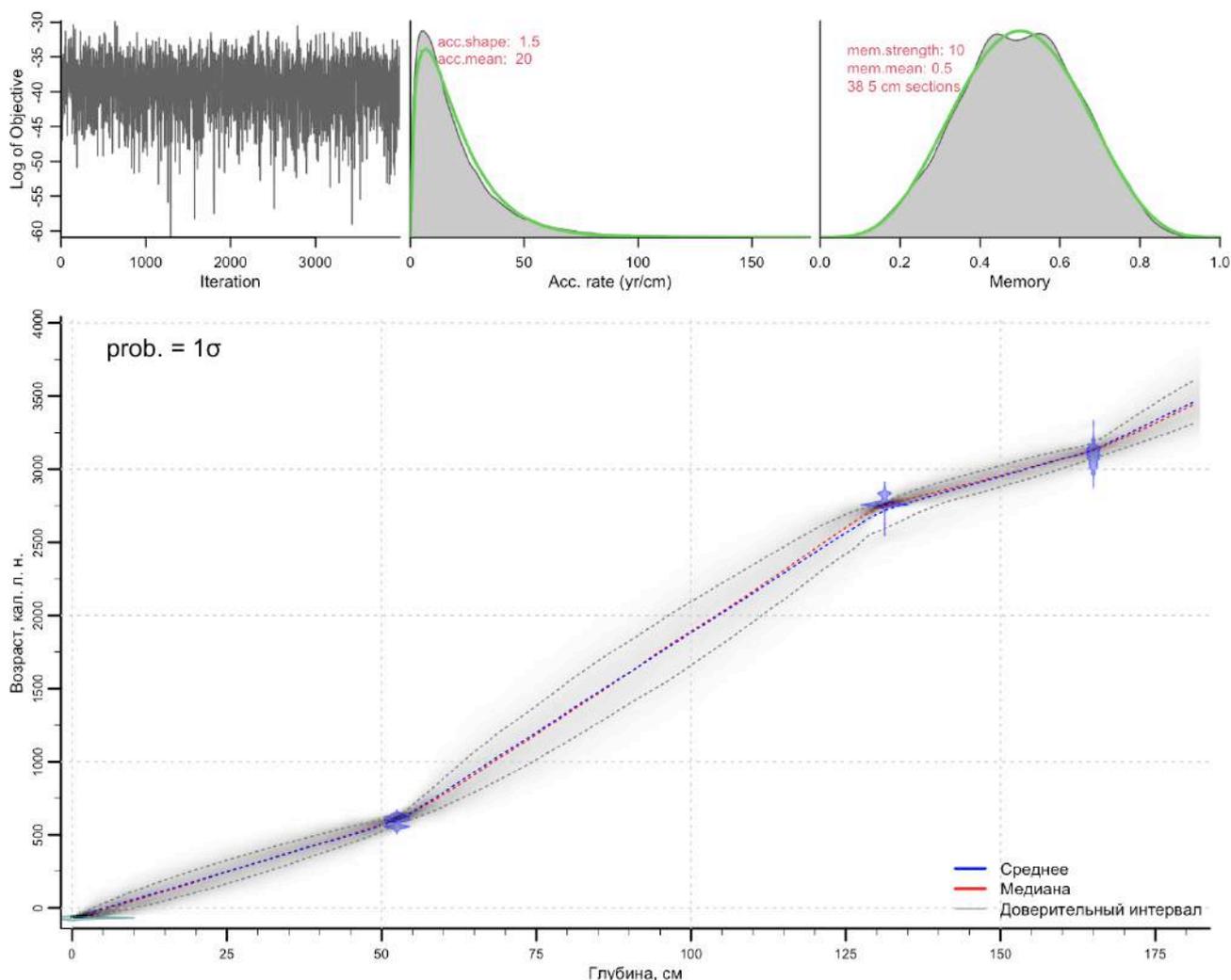


Рисунок 17. Модель накопления отложений урочища Радомский Мох, рассчитанная на основе байесовских вероятностей.

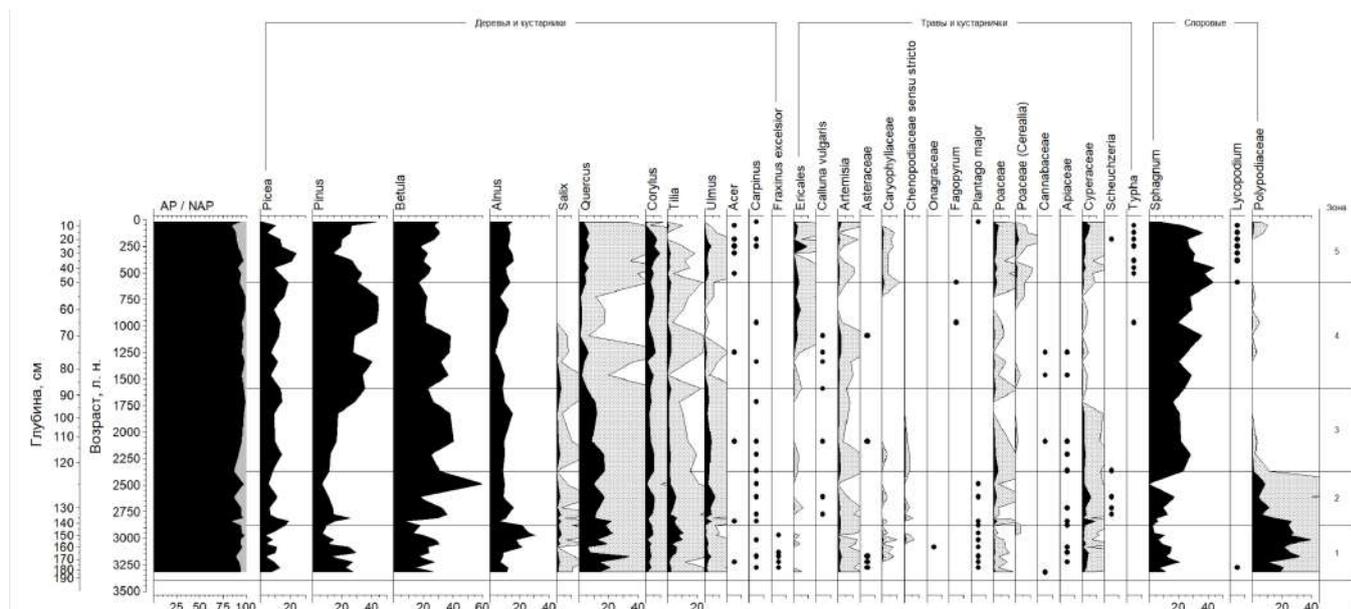


Рисунок 18. Сокращенная спорово-пыльцевая диаграмма отложений болота Радомский Мох. Пыльцевые зоны выделены в соответствии с результатами иерархического кластерного анализа

Зона 2 (2900–2350 л. н.). Начало зоны совпадает с появлением пыльцы культурных злаков (*Cerealia*) и коноплёвых (*Cannabaceae*), а также с резким снижением доли ольхи (*Alnus*) с 25 до 5 %. На этом этапе фиксируются локальные пики пыльцы осоковых (*Cyperaceae*), ели (*Picea*) и трав, включая антропогенные индикаторы.

До 2600 л. н. доля пыльцы коренных деревьев растёт, но затем вновь резко сокращается. Это событие сопровождается увеличением пыльцы берёзы (*Betula*), травяных индикаторов освещённых местообитаний и эвтрофных болот (первый пик *Scheuchzeria palustris*). Также наблюдается рост доли спор сфагнума.

На уровне 2350 л. н. отмечен второй пик *Scheuchzeria palustris*, совпадающий с появлением пыльцы кувшинки (*Nymphaea sp.*), указывающей на наличие стоячей воды. Этот период характеризуется увеличением пыльцы *Poaceae*, *Chenopodiaceae* и *Apiaceae*, а также ростом доли спор сфагновых мхов до 30 %.

Зона 3 (2350–1600 л. н.). Период характеризуется плавным снижением доли пыльцы широколиственных деревьев с 25 до 15 % при одновременном увеличении доли хвойных: ели (с 10 до 17 %) и сосны (с 10 до 40 %). В динамике пыльцы ели

фиксируются два пика (2200 и 1700 л. н.), совпадающие с пиками пыльцы ив (*Salix*). Эти пики коррелируют с периодами снижения доли ольхи (*Alnus*) и берёзы (*Betula*).

Кратковременный всплеск пыльцы культурных злаков зафиксирован около 2250 л. н. Доля антропогенных индикаторов в начале этапа постепенно уменьшается с 7 до 2 %, однако к концу зоны она вновь возрастает до 4 %.

Зона 4 (1600–600 л. н.). Начало периода связано с резким сокращением доли широколиственных деревьев и ели, что сопровождается увеличением пыльцы антропогенных индикаторов и появлением *Calluna vulgaris* (индикатор пожаров).

Около 1500–1400 л. н. наблюдается ещё один кратковременный пик пыльцы культурных злаков. С 1100 л. н. происходит значительное снижение доли берёзы, при этом сосна начинает доминировать в пыльцевом спектре. Динамика кривых ели и широколиственных деревьев остаётся нестабильной и в противофазе с кривыми антропогенных индикаторов.

Доля спор сфагнома колеблется от 25 до 45 %, достигая максимума к верхней границе зоны.

Зона 5 (с 600 л. н. по наст. время). На протяжении всего этапа доли пыльцы древесных растений демонстрируют значительные колебания, которые находятся в противофазе с колебаниями кривой антропогенных индикаторов. Характерной чертой периода является постепенное увеличение доли водно-болотных растений (*Cyperaceae*), включая *Typha latifolia* (индикатор стоячей воды).

Между 500 и 400 л. н. фиксируется снижение пыльцы культурных злаков, синхронное пикам ели и широколиственных деревьев. С пиками *Cerealia* в пыльцевом спектре коррелирует увеличение спор плаунов, которые являются индикаторами зарастания нарушенной лесной почвы (Бакуменко, Ершова, 2022).

4.2.4. Результаты ботанического анализа торфа

Ботанический анализ торфа был выполнен Маргаритой Журавковой на кафедре экологии и географии растений биологического факультета МГУ. Его результаты представлены в таблице 6. Торфяные отложения начинаются с глубины 135 см, и их структура демонстрирует последовательную смену растительных остатков и степени разложения.

На глубине 130–135 см торф, контактирующий с сапропелем, преимущественно сложен остатками шейхцерии болотной, а также содержит значительную примесь древесных остатков: ольхи черной (20%) и березы (30%). Степень разложения торфа в этом слое высокая — около 50%.

В следующем слое (125–130 см) наблюдается резкое уменьшение количества древесных остатков (до 5%) при существенном увеличении содержания остатков шейхцерии (до 70%). Степень разложения в этом слое снижается до 40%.

Слой на глубине 115–125 см характеризуется сменой остатков шейхцерии на остатки пушицы.

В слое 105–115 см вновь преобладают древесные остатки, преимущественно сосны и березы (до 80%), вместе с остатками вересковых кустарничков, таких как багульник (10%). Степень разложения снова возрастает до 50%.

В слоях выше продолжается чередование торфов:

- На глубине 95–105 см — пушицевый торф.
- На глубине 75–95 см — торф с преобладанием остатков сосны. Этот слой относится к верховому типу торфа, в отличие от нижележащих древесных переходных торфов.

С глубины 75 см остатки деревьев практически исчезают.

- Слой на глубине 65–75 см состоит из остатков мочажинных сфагновых мхов (*Sphagnum fallax*) и пушицы, со степенью разложения 40%, что является высоким показателем для верхового торфа.
- Торф на глубине 50–65 см также относится к верховому типу, сложен остатками сфагнома и пушицы, со стандартной степенью разложения 10%.

На глубине 40–50 см выделяется тонкий слой сосново-сфагнового торфа с более высокой степенью разложения (20%) по сравнению с верхними и нижними слоями.

С глубины 40 см и до поверхности торфяной залежи торф сложен исключительно остатками сфагновых мхов с характерной для верхового торфа степенью разложения около 10%.

Таблица 6. Результаты ботанического анализа торфяной залежи, отобранной из болота Радомский Мох

Глубина, см	Возраст, мод. л. н.	Тип торфа	Вид торфа	Степень разложения (R)
10	39	верховой	сфагновый	10
15	103	верховой	сфагновый	10
20	167	верховой	сфагновый	10
25	232	верховой	сфагновый	10
30	297	верховой	сфагновый	10
35	363	верховой	сфагновый	10
40	427	верховой	сфагновый	10
45	491	верховой	сосново-сфагновый	20
50	552	верховой	сосново-сфагновый	20
55	692	верховой	сфагновый	10
60	813	верховой	пушицево-сфагновый	10
65	937	верховой	сфагновый	10
70	1060	верховой	пушицево-сфагновый	40
75	1185	верховой	пушицево-сфагновый	40
80	1309	верховой	сосновый	40
85	1434	верховой	сосново-пушицевый	40
90	1560	верховой	сосновый	50
95	1684	верховой	сосновый	50
100	1807	верховой	пушицевый	50
105	1931	верховой	пушицевый	40
110	2055	переходный	древесно-пушицевый	50
115	2179	переходный	древесный	50
120	2303	верховой	пушицевый	40
125	2551	верховой	пушицевый	40
130	2673	низинный	шейхцериевый	40
135	2758	низинный	шейхцериевый	50

4.2.5. Заключение

Колонка отложений из урочища Радомский Мох охватывает динамику экосистем за последние 3300 лет. С самого начала этого периода на окружающую растительность заметное влияние оказывал антропогенный фактор.

Ботанический анализ торфа позволил реконструировать историю самого болота за последние 2750 лет. Развитие торфяной залежи началось в фитоценозе с доминированием ольхи черной, которая могла быть сведена людьми, так как ее сокращение синхронно с появлением пыльцевых антропогенных индикаторов. Это вызвало увеличение обводнения и всплеск численности шейхцерии болотной. В дальнейшем болото прошло классический путь сукцессии: от низинной стадии через переходную к верховой. Однако процесс перехода к верховой стадии был неоднократно прерван эпизодами понижения обводнённости, что приводило к возвращению болота на переходную стадию с преобладанием древесной растительности.

Пыльцевые данные демонстрируют, что на первом этапе реконструированной истории ландшафта, когда болото ещё представляло собой озеро, здесь фиксируется хозяйственная деятельность человека, вероятно связанная с выпасом скота, о чём свидетельствуют не только пыльцевые индикаторы (*Plantago sp.*), но и наличие эолового песка. Серия пожаров, зафиксированных в слоях отложений, стала триггером заболачивания и зарастания озера сплавиной. Причины пожаров остаются не до конца ясными: они могли быть вызваны как климатическими условиями (климатический оптимум бронзового века) (Brooke, 2014), так и антропогенной деятельностью. Вероятно, эти факторы действовали совместно.

Пирогенное происхождение болот является распространённым явлением для Центральной и Восточной Европы (Feurdean et al., 2020; Волкова, Новенко, Юрковская, 2020; Sim et al., 2023). Механизм подобных процессов был описан классиками отечественной науки: при сведении леса (например, подсечно-огневым способом) снижается уровень эвапотранспирации, что приводит к подъёму

грунтовых вод и заболачиванию (Сукачѳв, 1923; Кирюшкин, 1980). Если поблизости находится озеро, оно постепенно зарастает сплавиной, превращаясь в болото. Вероятно, именно такой процесс происходил и на болоте Радомский Мох.

Данные археологии и палеоэкологии подтверждают применение подсечно-огневого земледелия в регионе на рубеже бронзового и раннего железного веков (Шмидт, 1992; Miagkaia, Ershova, 2020; Кренке и др., 2022). Аналогичные методы земледелия использовались в долине реки Катынки, что делает возможным аналогии с ландшафтными изменениями в Радомском Моку.

В дальнейшем формирование болота сопровождалось увеличением содержания пыльцы ольхи, вероятно отражающей локальную реакцию на заболачивание. Ельники, окружавшие болото, вероятно, сформировались между климатическими оптимумами бронзового века и римским, что соответствует современным представлениям о голоценовой динамике растительности: бореальные виды растений начинают внедряться в неморальные сообщества около 4000–2500 лет назад (Хотинский, 1977; Еловичева и др., 2004).

4.3. Безымянное болото около Акатовского озера

Третьим объектом для голоценовых реконструкций стало небольшое безымянное болото площадью около 0,25 км², расположенное в 200 м от Акатовского озера. В его окрестностях известно несколько могильников раннего железного века, а в 1 км от него находится городище того же периода. На расстоянии нескольких километров выявлены также археологические памятники средневекового времени (Краснов, Михальченко, Патрик, 1997).

Ожидалось, что пыльцевые спектры, полученные из отложений болота, будут отражать преимущественно локальную динамику растительности и содержать свидетельства антропогенной деятельности. Кроме того, поскольку болото входит в ту же гидрологическую систему, что и объекты, исследованные Н. А. Березиной (2001), предполагалось, что его торфяная залежь может охватывать динамику растительности на протяжении всего голоцена.

Из центральной части болота было отобрано 3 м слабо разложившихся торфяных отложений. Глубина отбора проб ограничивалась возможностями инструментария, поэтому реальная глубина торфяной залежи осталась неизвестной. Чтобы восполнить этот пробел и выяснить время образования болота, нижняя часть залежи дополнительно отобрали у его края.

4.3.1. Литологический анализ

Трёхметровый керн, отобранный из центральной части болота, представлен однородными слабо разложившимися торфяными отложениями. Верхние 40 см были слишком жидкими, чтобы их можно было отобрать для спорово-пыльцевого анализа без нарушения стратиграфии.

Для получения дополнительной информации у края водоёма был взят 40-сантиметровый керн минерализованного сапропеля. Нижний слой этого керна содержал заметную примесь эолового песка, что могло указывать на процессы, происходившие вблизи водоёма в прошлые периоды.

4.3.2. Результаты радиоуглеродного датирования и моделирования накопления отложений

Для установления времени начала формирования болота была датирована нижняя проба из 40-сантиметровой колонки минерализованного сапропеля. Чтобы оценить скорость накопления торфа и проверить гипотезу о возможности объединения двух колонок в единую, дополнительно были датированы нижний образец торфа из сплавины и образец из средней части торфяной залежи, соответствующий появлению культурных злаков в пыльцевых спектрах. Результаты AMS-радиоуглеродного датирования приведены в таблице 7.

Таблица 7. Результаты AMS-радиоуглеродного датирования образцов из безымянного болота близ Акатовского озера (Акатово).

Лабораторный номер	Материал	Глубина, см	Радиоуглеродная дата, ^{14}C л. н.	Калиброванная дата, кал. л. н. (2 σ)
УОС-15217	торф	225-230 (1)	1284 \pm 27	1288-1174
УОС-15213	торф	295-300 (1)	1409 \pm 43	1382-1275
УОС-15214	торф	175-180 (3)	3431 \pm 30	3824-3575

На основе полученных датировок были построены модели накопления отложений для каждой из колонок (рис. 19 и 20). Сравнение моделей показывает, что временной разрыв между нижним образцом из центральной части болота и верхним из краевой части составляет около 2000 лет. Это исключает возможность объединения данных из двух колонок для совместного анализа.

В связи с этим для дальнейшего изучения была выбрана колонка из центральной части болота, поскольку её хронологическая привязка, выполненная по трём радиоуглеродным датам, обеспечивает более точное определение возраста образцов и позволяет получить релевантные результаты.

4.3.3. Результаты спорово-пыльцевого анализа

Результаты спорово-пыльцевого анализа, охватывающие период от 160 до 1400 л. н., позволяют выделить 4 этапа в динамике растительности, которые отображают изменения экосистем исследуемого региона. Полная спорово-пыльцевая диаграмма представлена в приложении 2, сокращённая — на рисунке 21.

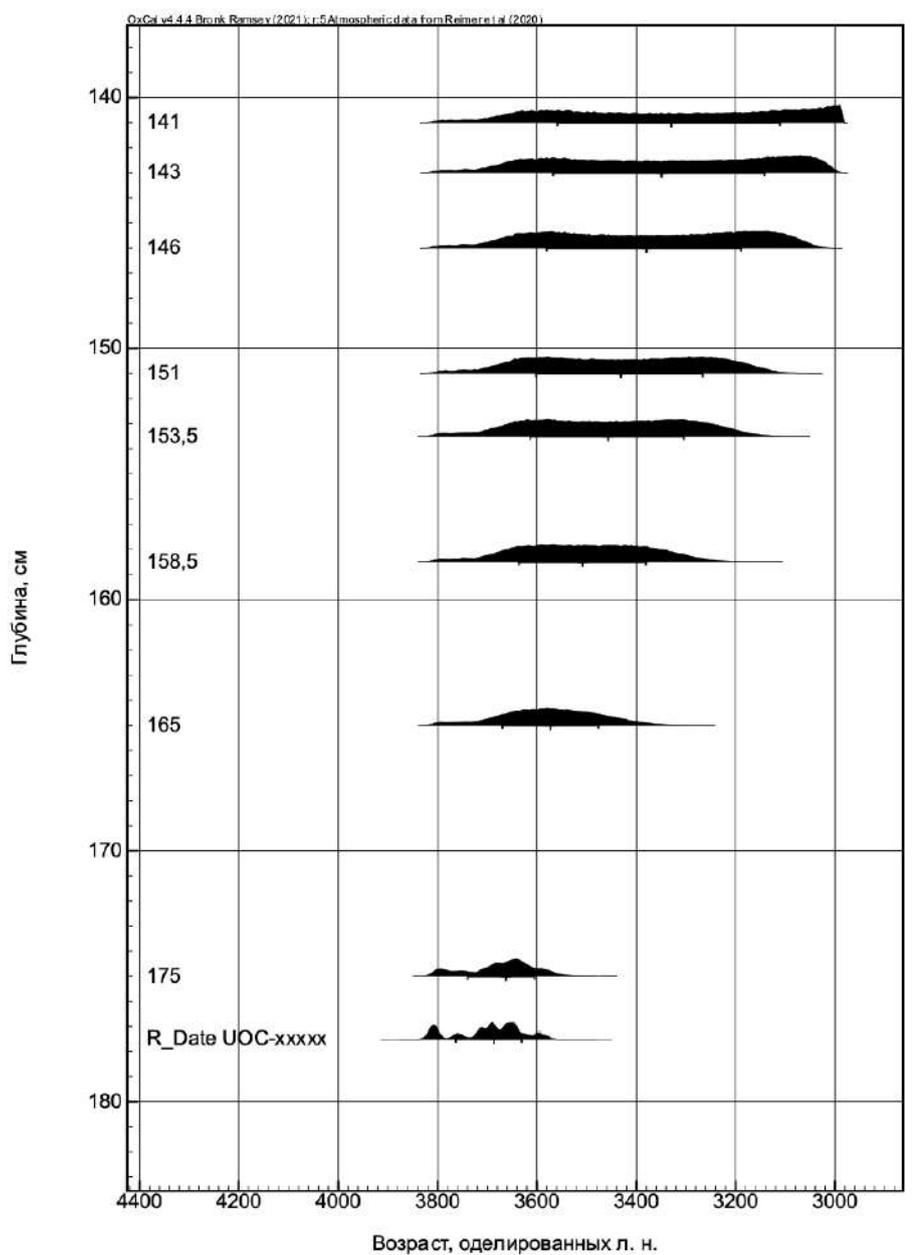


Рисунок 19. Модель накопления отложений, отобранных из краевой части безымянного болота близ Акатовского озера. Скобами отмечен доверительный интервал 1σ , крестом — медианное значение.

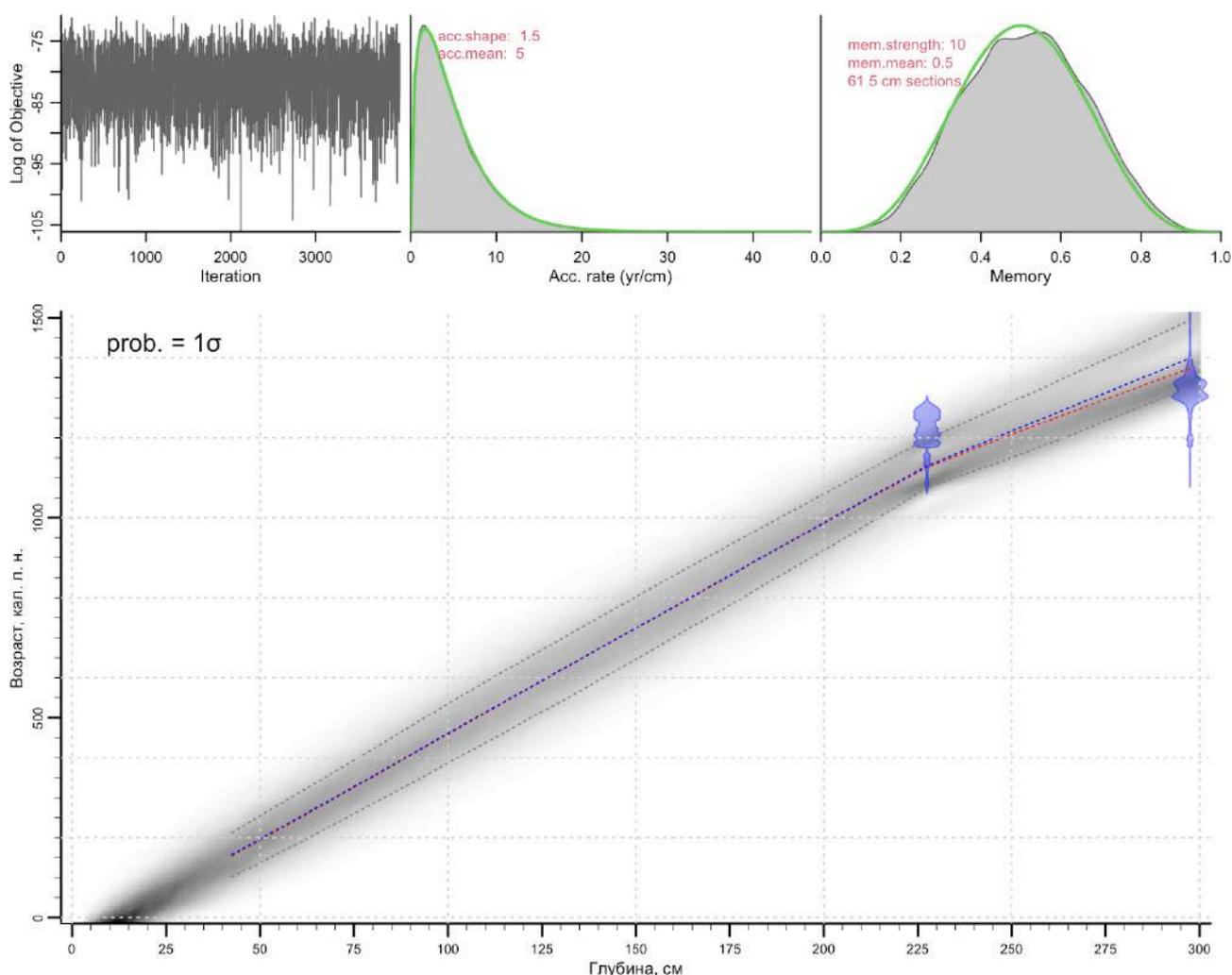


Рисунок 20. Модель накопления отложений, отобранных из центральной части безымянного болота близ Акатовского озера. Скобками отмечен доверительный интервал 1σ , крестом — медианное значение.

Зона 1 (1400–1200 л. н.). На первом этапе доминируют древесные таксоны, суммарная доля пыльцы деревьев достигает $\sim 30\%$. Максимальная доля приходится на берёзу ($\sim 10\%$), локальный пик ели отмечен около 1330 л. н. ($\sim 15\%$). В самом нижнем образце зафиксирован локальный пик пыльцы культурных злаков (1377 л. н.), антропогенные индикаторы (выпас, осветление) присутствуют на протяжении всего этапа.

Зона 2 (1200–900 л. н.). С началом этапа наблюдается уменьшение долей широколиственных деревьев (с 30% до 17%) и ольхи (с 11% до 6%). В это же время доля берёзы увеличивается с 30% до 40% . Локальный пик ели ($\sim 11\%$) приходится на середину этапа. Изменение долей древесных таксонов, за исключением берёзы и сосны, происходит асинхронно с изменением антропогенных индикаторов.

Минимумы кривых древесных таксонов совпадают с двумя слабо выраженными пиками кривой культурных злаков (~1200–1100 и ~1000 л. н.).

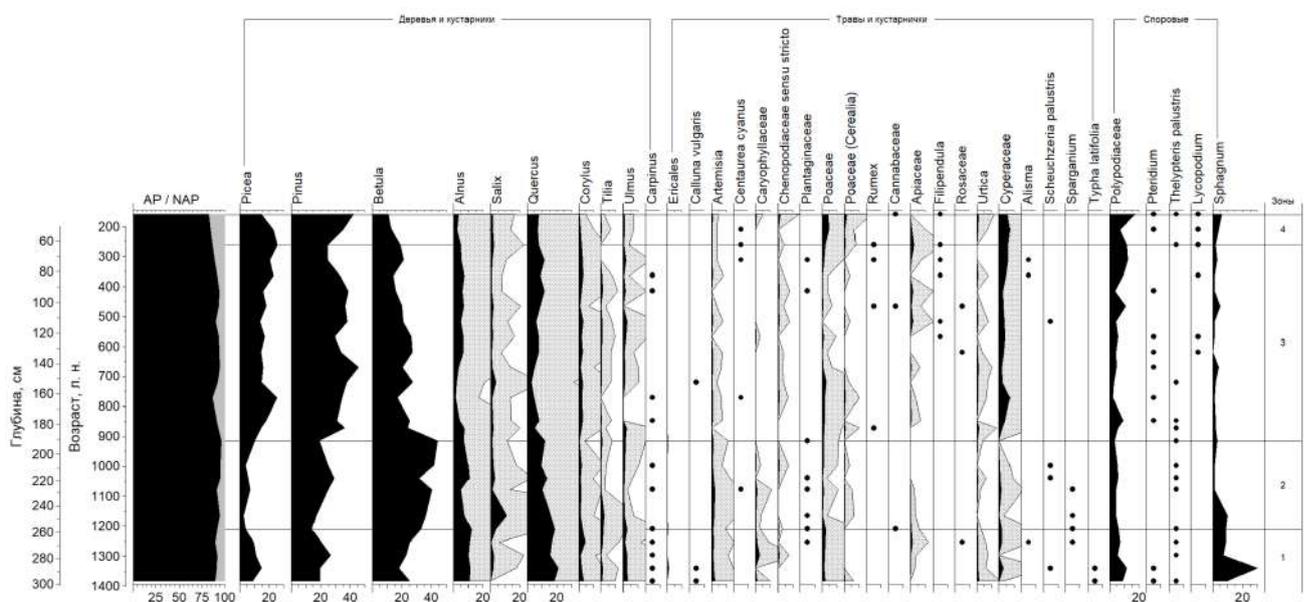


Рисунок 21. Сокращенная спорово-пыльцевая диаграмма отложений безымянного болота близ Акатовского озера, разделенная на зоны, выделенные в соответствии с результатами иерархического кластерного анализа.

Зона 3 (900–260 л. н.). На этом этапе продолжается сокращение долей широколиственных деревьев (с 17% до 11%) и берёзы (с 43% до 25%), при этом доля сосны резко возрастает (с 21% до 43% около 670 л. н.). Пыльца ели достигает максимума (~24%) около 770 л. н., после чего её доля становится нестабильной, с чередованием пиков и спадов. Зубчатая форма кривых древесных таксонов свидетельствует о регулярной антропогенной нагрузке. Это подтверждается пиками антропогенных индикаторов около 750 и 530 л. н. На протяжении этапа зафиксированы три пика пыльцы культурных злаков (~870–720, ~517 и ~364 л. н.), которые коррелируют с присутствием индикаторов пашни (*Lycopodium sp.*) и пожаров (*Pteridium aquilinum*). В период между пиками (520–350 л. н.) наблюдается увеличение долей таксонов коренных лесов. Доля осоковых нарастает с 1% до 7% и остаётся стабильной (~4–5%) до конца этапа.

Зона 4 (260–160 л. н.). Заключительный этап характеризуется ростом долей антропогенных индикаторов, культурных злаков, сосны и осоковых, на фоне небольшого сокращения широколиственных деревьев и ольхи.

4.3.4. Заключение

Анализ отложений из безымянного болота близ Акатовского озера показал, что на протяжении последних 1400 лет антропогенный фактор оказывал значительное влияние на динамику ландшафтов в окрестностях исследуемого объекта, играя более важную роль, чем климатический.

На временном интервале удалось выделить несколько волн заселения и активной хозяйственной деятельности: около 1400 л. н., 1200 л. н., 1000 л. н. и 870 л. н. Период запустения (470–400 л. н.), отмеченный снижением хозяйственной активности и восстановлением коренных лесов, совпадает с малым ледниковым периодом. Этот феномен наблюдается и в других регионах Европейской России, Беларуси и стран Европы (Nosova et al., 2019; Miagkaia, Ershova, 2020; Еловичева, 2004; Kullman, Öberg, 2009), что подтверждает корректность хронологической модели роста отложений.

Резкая смена доминирования берёзы на сосну около 920 л. н. может быть связана с переходом от подсечно-огневого земледелия к использованию постоянных полей. До этого момента (1400–920 л. н.) в спектрах регулярно отмечались индикаторы выпаса (*Plantago sp.*), что свидетельствует о преобладании скотоводства. После 920 л. н. антропогенные индикаторы нарушений почвы (*Lycopodium sp.*) начинают появляться стабильно, что может указывать на переход к системам севооборота, таким как трёхполье.

Данные спорово-пыльцевого анализа также отражают локальную динамику растительности болота. В нижних слоях колонки (1380–1330 л. н.) присутствие пыльцы рогоза (*Typha latifolia*) и кувшинки (*Nymphaea sp.*) указывает на наличие участков открытой стоячей воды. В тот же период пики спор сфагнума свидетельствуют о начале зарастания водоёма сплавиной. Позже (1330–950 л. н.) болото перешло в эу-мезотрофную стадию с участками стоячей воды и ольшаниками по краям, что подтверждается высокой долей пыльцы ольхи и наличием пыльцы шейхцерии болотной (*Scheuchzeria palustris*) и ежеголовника (*Sparganium sp.*). Вероятно, в этот период площадь ольшаников была значительно больше, чем в настоящее время. Начиная с 920 л. н., болото приобрело

современный облик олиго-мезотрофного типа с преобладанием сфагновых мхов, пушицы и осок.

Колонка из этого болота представляет большой интерес для климатических реконструкций благодаря высокой скорости накопления отложений (около 1 см за 5 лет) и высокому временному разрешению (25–50 лет на образец). Для более детальной реконструкции истории болота и уточнения этапов его развития необходимо выполнить повторное бурение с отбором керна, начиная со дна, а также провести анализ ботанических макроостатков.

4.4. Болото Мшары (урочище Аксёнинский Мох, исток Днепра)

Ключевым объектом исследования стало болото Мшары, расположенное в истоке реки Днепр. Это болото выделяется своими размерами (более 3 км²) и развитым грядово-мочажинным комплексом. Важно отметить, что следов торфоразработок или иных антропогенных нарушений на его территории не обнаружено.

Археологических памятников в окрестностях болота не выявлено, однако в 1920-е годы были зарегистрированы находки, отнесённые к неолиту, на расстоянии нескольких километров (точное местоположение неизвестно) (Краснов, Михальченко, Патрик, 1997). С тех пор археологические исследования в этом районе не проводились.

Для анализа был отобран керн из географического центра болота, вблизи грядово-мочажинного комплекса. Это место было выбрано из предположения, что именно здесь мощность торфяной залежи максимальна и процессы торфообразования начались наиболее рано.

Ввиду значительной площади болота, его удалённости от известных археологических памятников, крупных деревень и сёл XIX–XX столетий, была выдвинута гипотеза, что развитие местной растительности длительное время происходило при минимальном антропогенном влиянии, в первую очередь под воздействием климатических факторов. Также предполагалось, что отложения, накопленные в истоке Днепра, охватывают весь голоцен, что позволит провести детальную реконструкцию растительности за несколько тысячелетий.

4.4.1. Литологический анализ

Было отобрано 347 см отложений, характеризующихся значительной неоднородностью. На глубине 347 см залегает моренный песок, предположительно являющийся материнской породой. Над ним, в слое от 346 до 328 см, находятся сильно разложившиеся органические остатки с примесью минеральной фракции, классифицируемые как сапрпель.

Слой от 328 до 220 см состоит из среднеразложившегося торфа, в то время как отложения выше 220 см (до 10 см от поверхности) представлены слаборазложившимся торфом. Более детальная характеристика торфов требует проведения ботанического анализа макроостатков.

Для оценки степени минерализации отложений был выполнен анализ потерь органического вещества при прокаливании, результаты которого представлены на рисунке 22.

На основании данных о потерях органического вещества при прокаливании в истории развития водоёма можно выделить четыре основные стадии: 342–330 см, 330–285 см, 285–130 см, 130–0 см. Границы между этими стадиями не отличаются чёткой контрастностью и определены скорее как условное решение исследователя. Однако сопоставление данных потерь органического вещества с результатами спорово-пыльцевого анализа позволяет более детально охарактеризовать этапы развития водоёма, отражая постепенные изменения экосистемы.

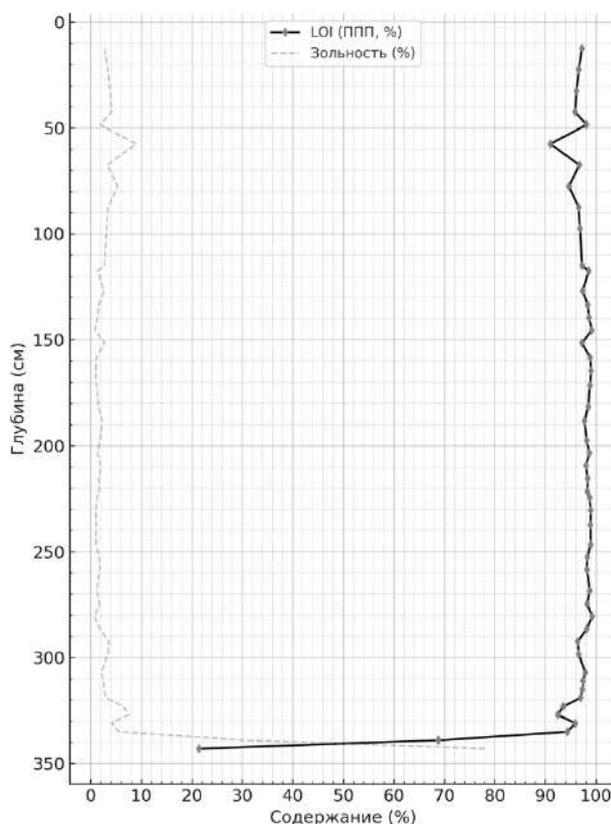


Рисунок 22. Потери при прокаливании отложений болота Мшары. Слева — потери при прокаливании (%), справа — зольность (%)

4.4.2. Датирование

Для построения хронологической модели три образца из разных частей торфяной колонки были отправлены на AMS-радиоуглеродное датирование, результаты которого приведены в таблице 7. На основе полученных дат была построена модель накопления отложений (рис. 23).

Таблица 7. Результаты AMS-радиоуглеродного датирования образцов из болота Мшары (урочище Аксёнинский Мох, исток Днепра)

Лабораторный номер	Материал	Глубина, см	Радиоуглеродная дата, ^{14}C л. н.	Калиброванная дата, кал. л. н. (2σ)
УОС-14969	торф	120-125	462 ± 34	543-474
УОС-14970	торф	217,5-220	1346 ± 41	1342-1176
УОС-14971	торф	324-326	3632 ± 31	4080-3847

Модель показывает, что скорость накопления отложений в болоте Мшары изменялась на разных этапах. Отложения сапропеля (346–328 см) формировались относительно медленно, со скоростью 1 см за 10 лет. На следующем этапе (328–220 см) скорость накопления дополнительно снижалась, составляя около 1 см за 25 лет. В верхней части колонки (220–10 см) процесс накопления ускорился до 1 см за 6 лет.

Из-за нелинейности скорости накопления отложений хронологическая модель имеет широкие доверительные интервалы, что затрудняет точную датировку каждого конкретного образца. Для повышения точности модели требуется провести дополнительные радиоуглеродные датировки, особенно для образцов из зон с низкой скоростью накопления. Также необходимо отбирать образцы с меньшим шагом в тех участках колонки, где наблюдается замедление накопления.

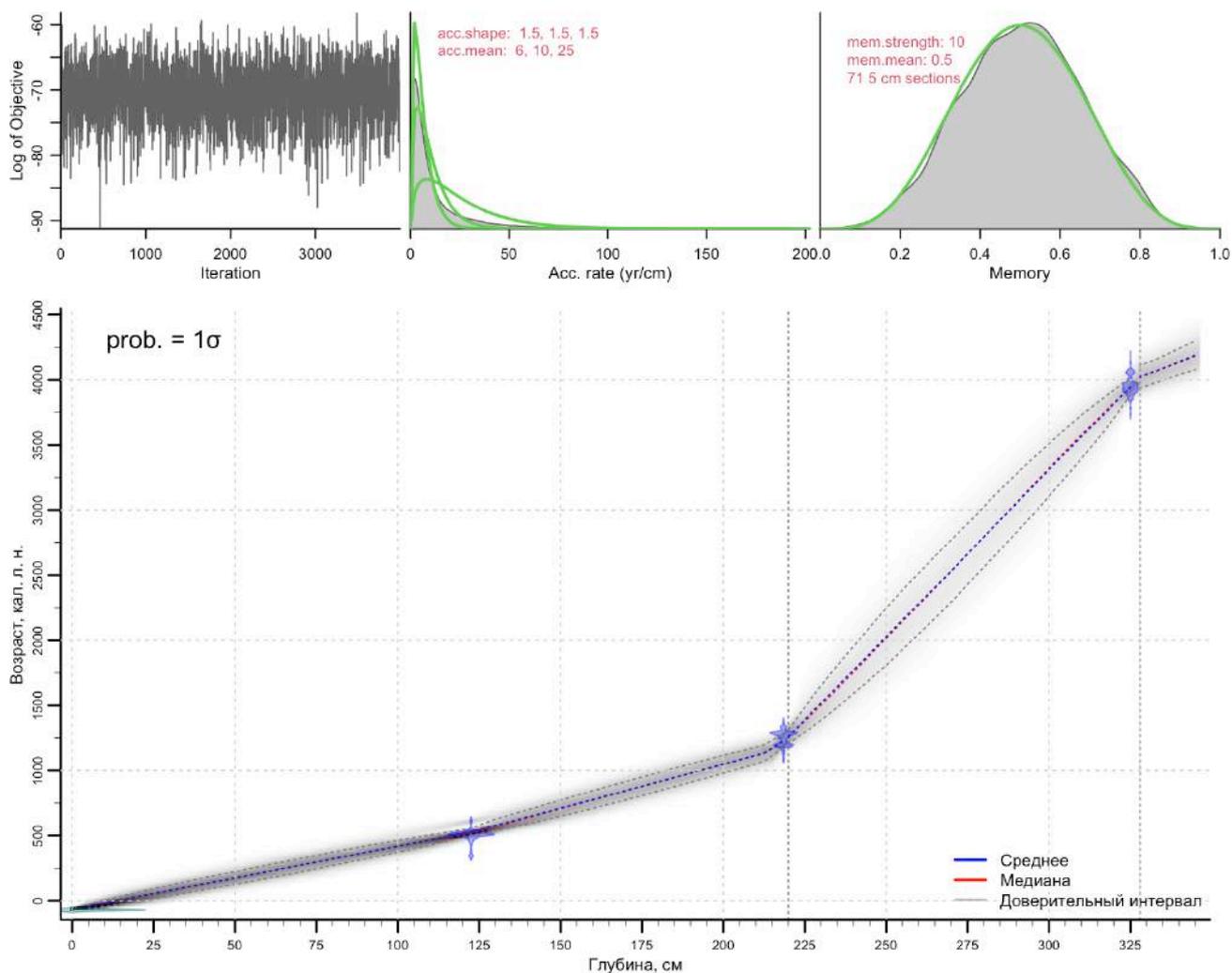


Рисунок 23. Модель накопления отложений болота Мшары (урочище Аксёнинский Мох, исток Днестра), рассчитанная на основе байесовских вероятностей.

4.4.3. Спорово-пыльцевой анализ

По результатам иерархического кластерного анализа, выполненного на основе данных спорово-пыльцевого анализа, в динамике экосистем было выделено шесть контрастных зон. Сокращённая спорово-пыльцевая диаграмма приведена на рисунке 24, полная — в приложении 3.

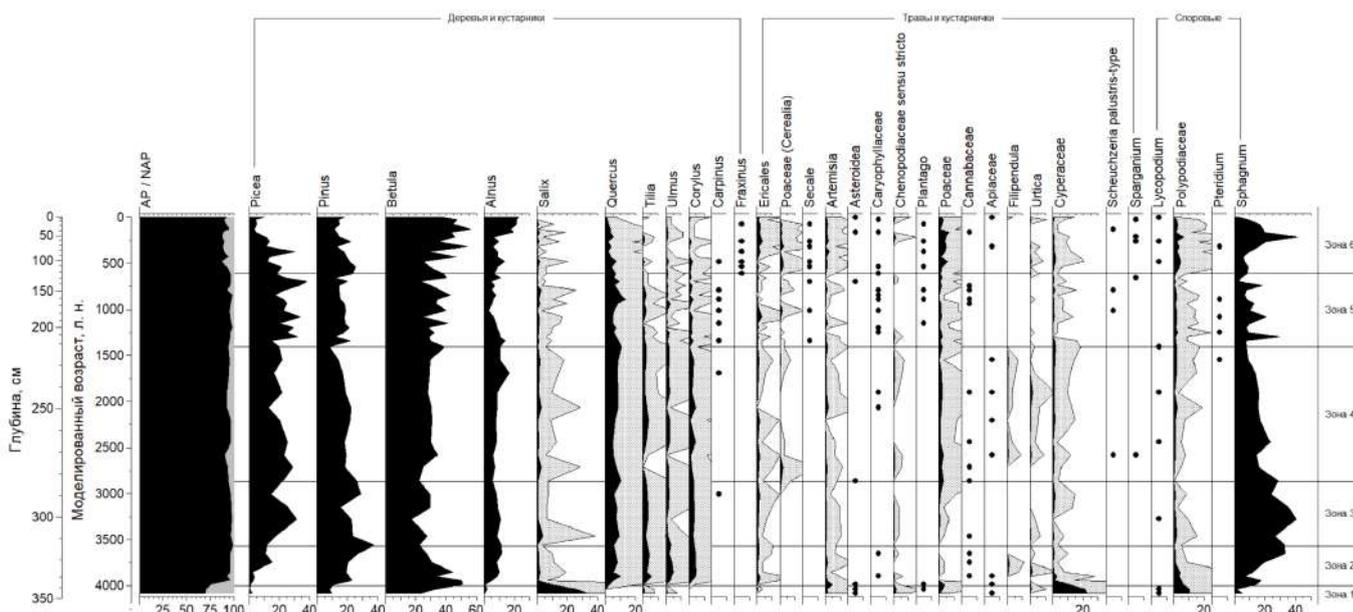


Рисунок 24. Сокращенная спорово-пыльцевая диаграмма отложений болота Мшары (урочище Аксёнинский Мох, исток Днепра), разделенная на зоны, выделенные в соответствии с результатами иерархического кластерного анализа

Зона 1 (до 4000 л. н.). Для пыльцевого спектра этого этапа характерно преобладание пыльцы ив (23%) и осоковых (33%), а также наличие пиков злаков и полыни. Высокая доля спор папоротников может указывать на поверхностный сток и нарушение стратиграфии. Эта зона существенно отличается от всех последующих и, вероятно, отражает локальную динамику растительности.

Зона 2 (4000–3600 л. н.). На этом этапе преобладают пыльца берёзы (46–27%), сосны (36–22%) и ольхи (12–18%). В первой половине периода наблюдается стремительный рост кривых дуба (10% около 3920 л. н.) и ели (12% с локальным пиком в 15% около 3750 л. н.). Доля пыльцы ивы резко сокращается с 23% до 1–2%. В спектре впервые появляются пыльцевые зёрна *Cannabaceae* и *Urtica sp.*

Зона 3 (3600–2900 л. н.). тап характеризуется резким ростом кривой ели с 12% до максимума 25% около 3280 л. н. Доля сосны резко падает с 36% до 22%, после чего стабилизируется. Доли берёзы, лещины и таксонов широколиственных деревьев (*Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*) демонстрируют флуктуации. В последней четверти

периода наблюдается стремительный рост индикаторов освещенности, в основном из злаков (Poaceae) и рудеральных растений.

Зона 4 (2900–1400 л. н.). В начале этапа кривая антропогенных индикаторов продолжает расти, зафиксировано первое появление пыльцы культурных злаков (2864–2440 л. н.). Второй пик кривой антропогенных индикаторов (преимущественно индикаторов осветления) наблюдается около 2300 л. н., при этом пыльца культурных злаков отсутствует. Второе появление культурных злаков отмечено в интервале 1700–1350 л. н. На этом этапе доли широколиственных деревьев и дуба сокращаются с 12% до 6%, тогда как доля ели плавно уменьшается с 25% до 18%, а кривые березы и сосны демонстрируют незначительные флуктуации.

Зона 5 (1400–600 л. н.). Доли древесных таксонов существенно флуктуируют. В начале периода происходит резкое сокращение доли широколиственных деревьев в спектре (с 17% до 10%), достигая минимума около 1200 л. н. В этот же момент зафиксирован локальный максимум берёзы (43%). В период до 1050 л. н. доля ольхи в спектре падает с 14% до 4%, её минимум совпадает с пиком антропогенных индикаторов, среди которых впервые отмечены индикаторы выпаса (*Plantago sp.*). В интервале 1600–950 л. н. регулярно регистрируются индикаторы пожаров и подсек (споры *Pteridium aquilinum*). Хвост кривой культурных злаков из предыдущего этапа тянется до 1350 л. н., следующее их появление отмечается между 1100 и 940 л. н., а начиная с 750 л. н. кривая культурных злаков становится непрерывной вплоть до субрецентного образца (30 л. н.). Впервые в спектре появляется рожь (около 1360 л. н.), её пыльцевые зёрна периодически фиксируются до субрецентра.

Зона 6 (от 600 л. н.). На протяжении всего этапа доля широколиственных деревьев в спектре стремительно снижается, аналогичная тенденция наблюдается и у ели, за исключением резкого пика около 380 л. н. Доли березы и сосны, напротив, увеличиваются, как и доля антропогенных индикаторов, включающих пыльцу сельскохозяйственных культур, индикаторы выпаса и осветления. Кривая ольхи резко возрастает на уровне около 280 л. н., одновременно с чем наблюдается

рост кривой осоковых и появление индикаторов стоячей воды (*Sparganium sp.*, *Nymphaea sp.*) и эвтрофных местообитаний (*Scheuchzeria palustris*).

4.4.4. Заключение

Болото Мшары выделяется среди исследованных объектов своей крупной площадью и ненарушенным состоянием. В отличие от урочища Радомский Мох, которое пострадало от торфоразработок, в Мшарах удалось провести бурение в географическом центре болота, максимально удалённом от нарушений, что соответствует всем правилам отбора образцов. Это позволило получить непрерывную последовательность отложений, что делает объект особенно ценным для реконструкции растительности и климата. Хотя Радомский Мох, возможно, превосходит Мшары по площади, необходимость бурить на окраине из-за значительных повреждений снижает его информативность по сравнению с ненарушенными отложениями Мшар.

Учитывая значительный размер болота, полученный спорово-пыльцевой спектр можно считать преимущественно региональным, что делает объект особенно ценным для анализа климатических изменений (Tauber, 1967). Однако нелинейность скорости накопления отложений ограничивает точность хронологических привязок, что требует дополнительных радиоуглеродных датировок и более детального анализа.

На основании спорово-пыльцевого анализа и других данных удалось выделить несколько ключевых этапов в развитии растительности и ландшафтов региона.

До 4000 л. н. водоём представлял собой озеро, окружённое ивняками, осоками (*Scirpus sylvaticus*) и тростником (*Phragmites australis*), которые формировали сплаvinу у берегов. Этот период отражён в спектре преимущественно локальными элементами растительности, что ограничивает интерпретацию данных в масштабах региона. Высокая доля спор папоротников указывает на возможный поверхностный сток, что, вероятно, повлияло на сохранность отложений.

Около 4000 л. н. озеро начало заболачиваться. В спектре это проявляется увеличением доли ольхи, формированием ольшаников и ростом вторичных березняков. Древесные микроугли, обнаруженные в образцах этого периода, указывают на серию пожаров, которые могли быть вызваны как антропогенным фактором, так и климатическим (оптимум бронзового века). Уменьшение количества осадков во время климатического оптимума могло привести к росту частоты лесных пожаров. Выгорание леса, в свою очередь, вызывает поднятие уровня грунтовых вод, что может приводить к дальнейшему заболачиванию леса (Сукачѳв, 1923; Кирюшкин, 1980).

Если механизм возникновения антропогенного пожара достаточно прост и понятен, то с климатический фактор в этом случае когда снижение уровня осадков способствовало пирогенному заболачиванию, характерному для Центральной и Восточной Европы (Сукачѳв, 1923; Кирюшкин, 1980).

Последующее тысячелетие, вплоть до 2900 л. н., динамика экосистем определялась преимущественно климатическим фактором. В этот период в пыльцевом спектре ярко выражено формирование регионального типа растительности: в неморальные сообщества, сформировавшиеся в атлантике (около 5–6 тыс. л. н.), начинают внедряться бореальные элементы (Березина, 2001; Еловичева, 2004). Среди бореальных элементов при спорово-пыльцевом анализе наиболее чѳтко прослеживается ель, чья доля в спектре увеличивается постепенно. Еѳ внедрение в леса, где доминируют дуб, липа и вяз, отмечается в интервале 3800–3400 л. н., с максимумом около 3280 л. н.

Чѳткий антропогенный сигнал появляется в пыльцевом спектре около 2900 л. н. В этот же момент в нем впервые фиксируется пыльца культурных злаков, а также резко возрастают доли антропогенных индикаторов и освещѳнности. Динамика кривых таксонов деревьев показывает, что увеличение площадей открытых ландшафтов в этот период связано преимущественно со сведением ольшаников: доля пыльцы ольхи в спектре резко падает, тогда как кривые ели и широколиственных деревьев сохраняют стабильность. Это может свидетельствовать о том, что хозяйственная деятельность людей в тот период

концентрировалась вблизи водоёмов, а коренные леса на водоразделах оставались нетронутыми.

Новая волна заселения региона, зафиксированная по пику антропогенных индикаторов, приходится на вторую половину I тысячелетия до н. э. (около 2300 л. н.). В это время расширение площадей открытых ландшафтов сопровождалось сокращением долей таксонов коренных лесов (ели, липы, вяза), что указывает на освоение водоразделов.

Очередная волна заселения, индицируемая по появлению пыльцы культурных злаков, происходит в начале I тысячелетия н. э. (1700–1350 л. н.). Этот период характеризуется восстановлением коренных древесных видов, что может свидетельствовать о временном ослаблении хозяйственной нагрузки. Следующий значительный антропогенный сигнал соответствует славянскому периоду (IX век н. э.), а начиная с раннесредневекового времени интенсивное земледелие продолжается вплоть до позднесоветского периода, что подтверждается кривыми культурных злаков и антропогенных индикаторов в пыльцевом спектре. Однако смена типов хозяйственной деятельности прослеживается менее чётко, чем в спектре из безымянного болота близ Акатовского озера, что, вероятно, связано с более широким пространственным охватом спектра из болота Мшары.

Динамика развития болота Мшары по спорово-пыльцевым данным прослеживается особенно чётко в начале рассматриваемого интервала (обсуждение приведено в начале главы) и в последние 500 лет. В этот период в спектре возрастает доля осоковых и вересковых, которые, во-первых, отражают локальный пыльцевой сигнал и, во-вторых, свидетельствуют об олиготрофизации. Вероятно, современный облик олигомезотрофного сфагново-осокового болота с брусникой и сосной сформировался к началу малого ледникового периода.

В последние 350 лет спектр отражает изменения уровня воды, которые, вероятно, связаны с хозяйственным использованием болота: фиксируется пыльца кувшинки, ежеголовника и шейхцерии болотной. Несмотря на то, что торфяная залежь болота не разрабатывалась, на его окраинах видны следы водоотводных

каналов как советского, так и более раннего периодов. Вероятно, эти каналы были сооружены в хозяйственных целях.

4.5 Результаты исследования безымянного болота около деревни Красный Холм под Вязьмой

Последний исследованный в рамках проекта объект — безымянное болото под деревней Красный Холм в Вяземском районе. Оно расположено близ восточной границы исследуемого района и, вероятно, является самым восточным из пригодных для региональных реконструкций объектов. Это обстоятельство делает болото ключевым связующим звеном при сравнении динамики экосистем Смоленской области с данными по Московской области.

Болото имеет значительную площадь (около 6,5 км²). В послевоенные годы его северо-восточная часть была включена в экспериментальную программу лесопосадок на заболоченных территориях, что привело к существенным нарушениям естественного торфяного покрова и центральной, предположительно самой древней, части болота. В результате возникла необходимость выбирать точку отбора проб в ненарушенной западной части болота, максимально удалённой от зон лесопосадок и расположенной близко к центру водоёма. Такое расположение обеспечивало наиболее полное отражение динамики растительности региона без нарушения стратиграфии.

4.5.1. Литология

Для анализа было отобрано 102 см отложений. Верхние 18 см колонки состоят из сфагновых мхов. Следующие 55 см представлены среднеразложившимся сфагновым торфом с более выраженной слоистостью, а нижние 25 см — сильно разложившимся торфом, плавно переходящим в минерализованный сапрпель, что свидетельствует о постепенном изменении экологических условий водоёма.

4.5.2. Датирование

Для хронологической привязки каждого образца была построена математическая модель накопления отложений (рис. 25). Для её создания три образца из разных глубин торфяной колонки были отправлены на AMS-радиоуглеродный анализ, результаты которого приведены в таблице 8.

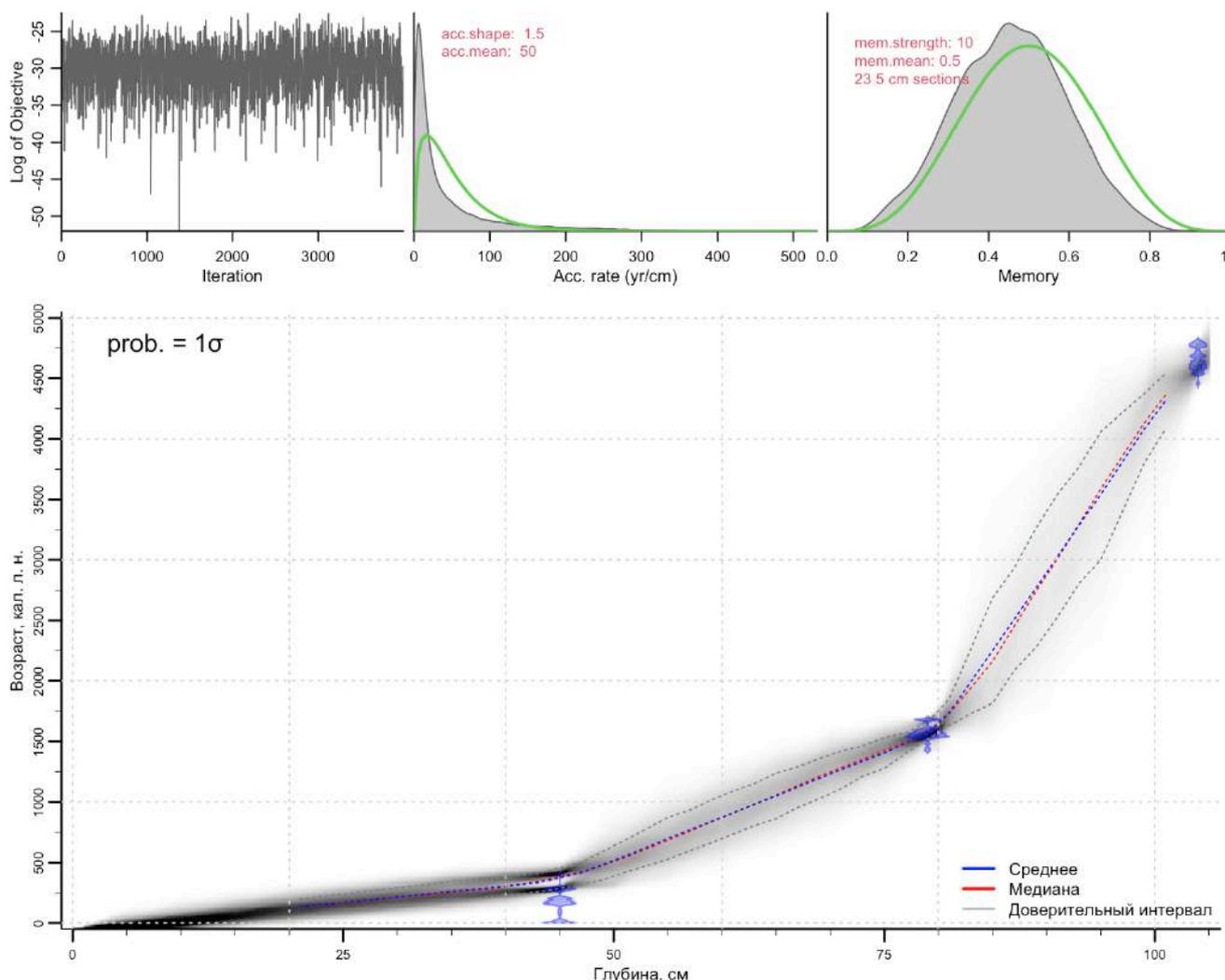


Рисунок 25. Модель накопления отложений безымянного болота близ деревни Красный Холм (Вязьма), рассчитанная на основе байесовских вероятностей.

Полученные радиоуглеродные даты показали, что 1 м отложений формировался на протяжении почти 5 тысяч лет. Модель накопления отложений выявила значительную неравномерность их роста: нижняя четверть колонки (102–75 см) формировалась на протяжении 3 тысяч лет, тогда как верхняя часть (75–20 см) — лишь за 1400 лет. Для проверки гипотезы о возможных пересыханиях

болота, влияющих на скорость накопления, был проведён анализ потерь органического вещества при прокаливании (Loss on Ignition, LOI).

Таблица 8. Результаты AMS-радиоуглеродного датирования образцов из безымянного болота близ деревни Красный Холм под Вязьмой

Лабораторный номер	Материал	Глубина, см	Радиоуглеродная дата, 14С л. н.	Калиброванная дата, кал. л. н. (2σ)
УОС-15210	торф	44-46	203 ± 26	293-151
УОС-15211	торф	78-80	1675 ± 26	1692-1521
УОС-15212	торф	100-102	4117 ± 27	4815-4526

4.5.3. Потери при прокаливании

Анализ потерь органического вещества при прокаливании позволяет оценить соотношение органической и минеральной составляющих в отложениях, что является индикатором экологических изменений в истории водоёма (Heiri, Lotter, Lemcke, 2001). Применительно к водно-болотным отложениям, изменение содержания органического вещества может свидетельствовать о периодах пересыхания, сопровождаемых минерализацией и разложением органического материала. Результаты анализа представлены на рисунке 26.

На основании анализа потерь при прокаливании в истории болота выделяются два периода пересыхания. Позднее пересыхание (21–35 см) является менее значительным и, вероятно, связано с частичным осушением болота в рамках программы облесения, проводившейся в послевоенные годы. Более раннее пересыхание (69–101 см) отличается большей интенсивностью и, скорее всего, обусловлено климатическими факторами. Одна из гипотез связывает это событие с глобальным климатическим явлением “4,2 ka event” — засухой, охватившей северное полушарие около 4200 лет назад.

Второе пересыхание, вероятно, привело к уплотнению органических отложений в нижней части колонки. Эти изменения подтверждаются значительным снижением доли органического вещества в данной части профиля.

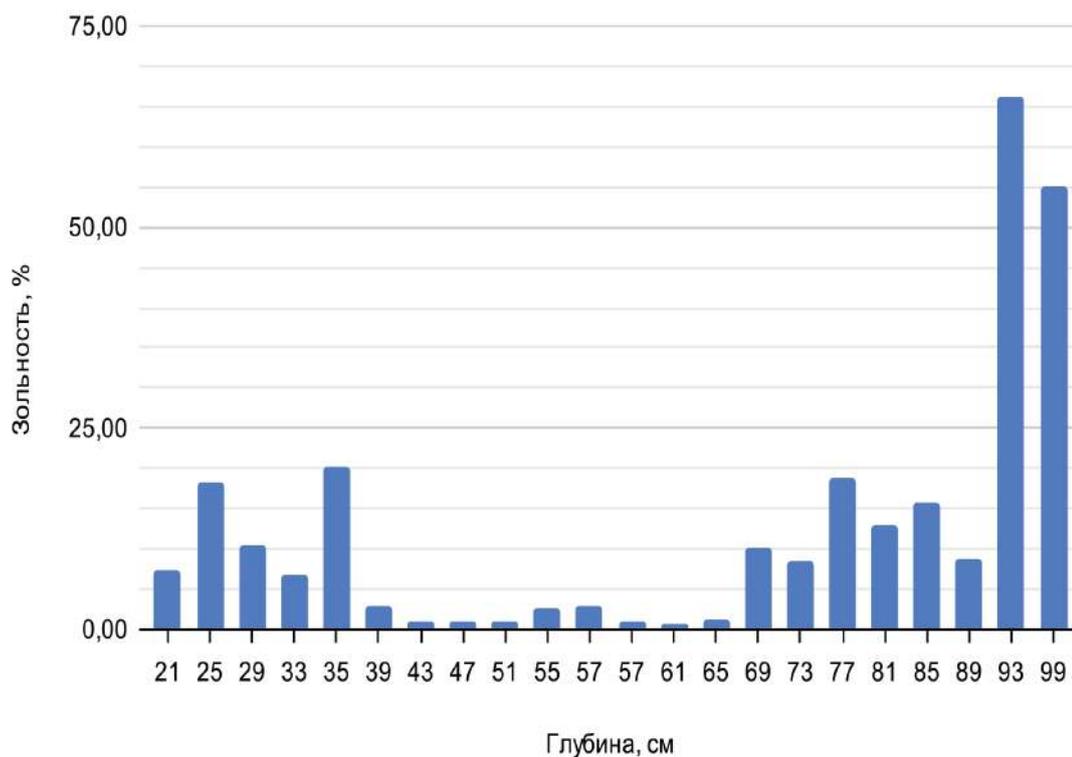


Рисунок 26. Зо́льность отложений болота около дер. Красный Холм, установленная методом анализа потерь при прокаливании (LOI).

4.5.4. Спорово-пыльцевой анализ

На основании данных спорово-пыльцевого анализа и выполненного иерархического кластерного анализа в спектре выделено пять зон, отражающих динамику растительности и антропогенной нагрузки в районе болота Красный Холм. Полная диаграмма представлена в приложении 4, сокращённая — на рисунке 27.

Зона 1 (4500–2700 л. н.). На этом этапе пыльцевой спектр характеризуется доминированием пыльцы берёзы, доля которой варьирует от 40 до 56%. Широколиственные деревья суммарно составляют 18–24%, что значительно выше, чем на всех последующих этапах. В спектре постоянно присутствуют индикаторы осветления (*Asteridae*, *Artemisia sp.*, *Poaceae*, *Chenopodiaceae*, *Apiaceae*), местообитаний со стоячей водой (*Typha latifolia*, *Scheuchzeria palustris*) и

эвтрофных заболоченных участков (*Urtica sp.*). Пыльца культурных злаков встречена единожды (около 3408 л. н.).

Зона 2 (2700–1350 л. н.). На этой стадии наблюдается постепенное сокращение доли широколиственных деревьев с 26% до 12% и берёзы с 40% до 31%. Индикаторов сельскохозяйственной деятельности на этом этапе не выявлено. Резкое падение кривых древесных видов в интервале 2800–2300 л. н. совпадает с появлением индикатора пожаров (*Pteridium sp.*) и локальным пиком кривой осветления. В период 2300–1500 л. н. кривые антропогенных индикаторов резко падают вплоть до полного их исчезновения, тогда как доля берёзы возрастает с 28% до 40%. В этот же период впервые наблюдается пик кривой ели (до 20%), доля которой ранее составляла 1–2,5%.

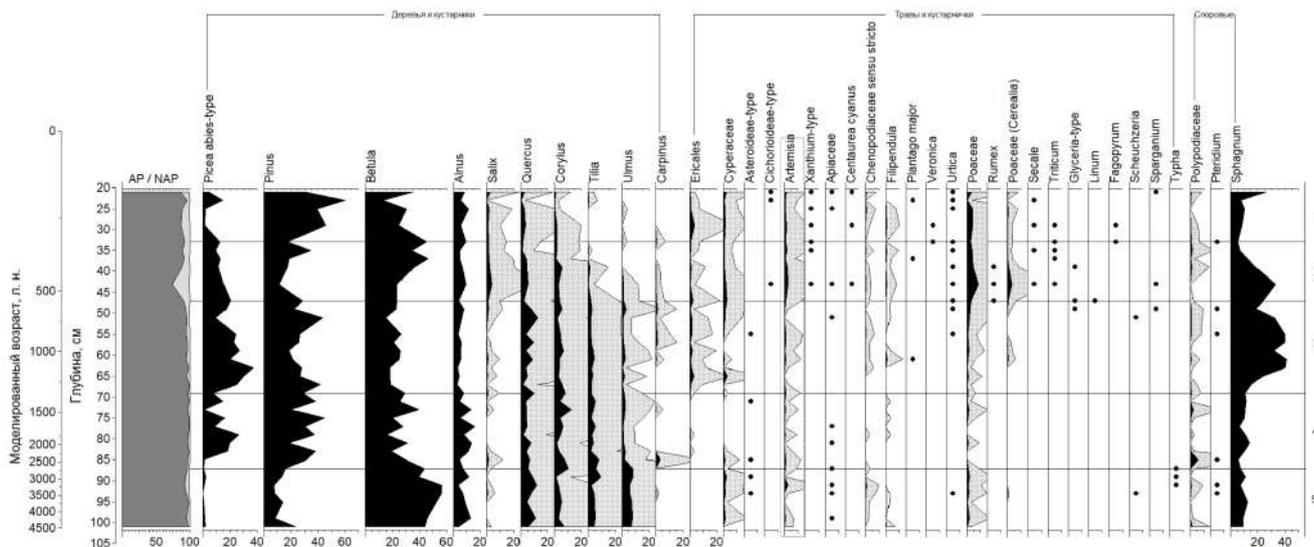


Рисунок 27. Сокращенная спорово-пыльцевая диаграмма отложений безымянного болота близ деревни Красный Холм под Вязьмой. Диаграмма разделена на зоны, выделенные в соответствии с результатами иерархического кластерного анализа

Зона 3 (1350–550 л. н.). На этом этапе начинается резкий рост кривой сфагновых мхов, что сопровождается появлением пыльцы вересковых кустарничков. С 1100 л. н. возрастает кривая антропогенных индикаторов, включающих культурные злаки, индикаторы осветления, выпаса и подсеки. С 610 л. н. пыльца культурных злаков начинает стабильно присутствовать в спектре. Единственное появление пыльцы льна (*Linum sp.*) отмечено на верхней границе

зоны. Кривые древесных таксонов приобретают зубчатую форму, что указывает на регулярную антропогенную нагрузку.

Зона 4 (550–320 л. н.). Этап характеризуется резким ростом кривых антропогенных индикаторов, включая пыльцу пастбищных и полевых сорняков, а также сельскохозяйственных культур. В начале этапа падают кривые широколиственных деревьев и ели. После пика культурных злаков (около 420 л. н.) происходит рост кривой берёзы, достигающей максимума около 370–350 л. н. Затем наблюдается сокращение кривой берёзы и рост кривой сосны, пик которой отмечен около 320–300 л. н.

Зона 5 (320–150 л. н.). На последнем этапе доминирует пыльца сосны (42–58%). Кривые культурных злаков и антропогенных индикаторов сохраняют стабильность. Широколиственные деревья суммарно представлены на низком уровне, однако около 190 л. н. фиксируется локальный пик липы, ранее отсутствовавшей в спектре начиная с 350 л. н. Провал в кривой культурных злаков (212–166 л. н.) совпадает с падением кривой дуба, увеличением доли индикаторов осветления и локальным пиком кривой сосны.

4.5.5. Заключение

Отложения из безымянного болота близ деревни Красный Холм под Вязьмой позволили реконструировать динамику растительности за последние 4600 лет, отразив как региональные, так и локальные изменения экосистем.

На раннем этапе заболачивания (до 2800 л. н.) антропогенная нагрузка на ландшафты была минимальной. Первые опосредованные свидетельства влияния человека появляются в пыльцевом спектре около 2800–2300 л. н., когда фиксируются индикаторы пожаров (например, споры *Pteridium*) и одновременно — антропогенной деятельности. В этот же период отмечено снижение доли широколиственных деревьев и рост доли индикаторов осветления. К концу этого этапа формируются вторичные березняки.

Первая достоверная волна заселения региона регистрируется в VIII–IX веках н. э., а вторая — в XIV веке. Спад сельскохозяйственной активности фиксируется в XVI–XVII веках, что совпадает с малым ледниковым периодом и

подтверждается аналогичными данными из других пыльцевых спектров Европейской России, Беларуси и Европы (Nosova et al., 2019; Miagkaia, Ershova, 2020; Kullman, Öberg, 2009).

Особое внимание привлекает динамика ели в пыльцевом спектре. До 2500 л. н. её доля не превышает 2%, что позволяет предположить, что исследуемый объект находился в зоне широколиственных лесов, недалеко от её северной границы. После 2500 л. н. начинается постепенный рост доли ели, достигающий локального максимума (20%) около 1900 л. н., что, вероятно, связано с движением границы зон широколиственных и смешанных лесов. Этот пик сменяется спадом до 8–9% в интервале 1500–1300 л. н., за которым следуют локальные колебания: пик около 1150 л. н. и спад около 700 л. н.

Подобные колебания могут отражать как краевые эффекты (изменения границы ареала ели), так и локальные антропогенные воздействия. Для уточнения разделения локального и регионального сигналов в пыльцевом спектре целесообразно провести анализ с использованием моделей REVEAL/LOVE (Sugita S., 2007a; 2007b). Дополнительно потребуется уменьшить шаг анализа, чтобы точнее определить хронологию движения ареала ели.

Таким образом, болото Красный Холм представляет собой важный объект для изучения взаимодействия природных и антропогенных факторов в истории растительности верховьев Днепра и сопредельных регионов.

Глава 5. Количественная реконструкция динамики биомов

Среди реконструкций динамики растительности, полученных в результате спорово-пыльцевого анализа, наиболее длительными по хронологии оказались те, что построены по данным из отложений болот Мшары (исток Днепра) и близ деревни Красный Холм. Эти же объекты обладают предположительно наиболее широким пространственным разрешением, отражая динамику региональной растительности. По совокупности этих факторов данные из указанных объектов были использованы для количественной реконструкции биомов, в дополнение к качественной реконструкции, изложенной в разделах 4.1.3, 4.2.3, 4.3.4, 4.4.4 и 4.5.5.

Результаты количественной реконструкции представлены на рисунке 28. Общая картина показывает доминирование лесных биомов над открытыми (тундровыми и степными) на протяжении всего исследованного периода. Среди лесных биомов основным типом являются смешанные леса. Однако временная динамика их распространения различается между объектами. По данным болота Мшары, сигнал смешанных лесов преобладает с самого начала исследуемого интервала (4200 л. н.). В случае с болотом под деревней Красный Холм этот сигнал начинает доминировать существенно позже — около 2500 л. н.

До 2500 л. н. в реконструкции по данным из болота Красный Холм наблюдается равновеликость сигналов от смешанных и широколиственных лесов, что соответствует периоду плавного внедрения ели в состав древостоев (обсуждено в разделе 4.5.5). Усиление сигнала смешанных лесов после 2500 л. н. связано с увеличением доли пыльцы ели в пыльцевом спектре.

В реконструкции, полученной для болота Мшары, в последние 1600 лет графики всех биомов приобретают пилообразный характер, что отражает колебания коэффициентов аффинности для открытых экотипов. Эти колебания синхронны снижению доли древесных таксонов и увеличению травянистых в пыльцевом спектре. Это изменение, по-видимому, связано с антропогенным преобразованием ландшафтов, что подтверждается ростом доли культурных злаков

и сорных трав в позднеголоценовых пыльцевых спектрах. В реконструкциях биомов окрестностей болота около д. Красный Мох аналогичное явление наблюдается несколько позднее, начиная с 1200 лет.

Ближайшая к району попытка применить к спорово-пыльцевым данным метод количественной реконструкции относится к Змеиному болоту, расположенному в Псковской области (координаты). Авторы исследования (Tarasov et al., 2022) реконструировали динамику биомов на протяжении всего голоцена. Позднеголоценовая динамика получилась схожей для той, что получена нами по данным из болота Мшары: на протяжении всего позднего голоцена преобладают смешанные елово-широколиственные леса, коэффициенты аффинности для открытых биомов (тундровых и степных) возрастают в середине I тысячелетия новой эры (около 1500 л. н.).

Полученная количественным методом реконструкция биомов подкрепляет наши представления о динамике экосистем исследованного региона, сделанные качественным методом и изложенные в главе 4. Таким образом, полученная количественная реконструкция биомов в общих чертах похожа на реконструкции, полученные для этой же природной зоны (Tarasov et al., 2022), соответствует общепринятым представлениям о голоценовой динамике среднерусских экосистем (Хотинский, 1977) и дополняет их данными о времени формирования современной зональной растительности в исследованном регионе.

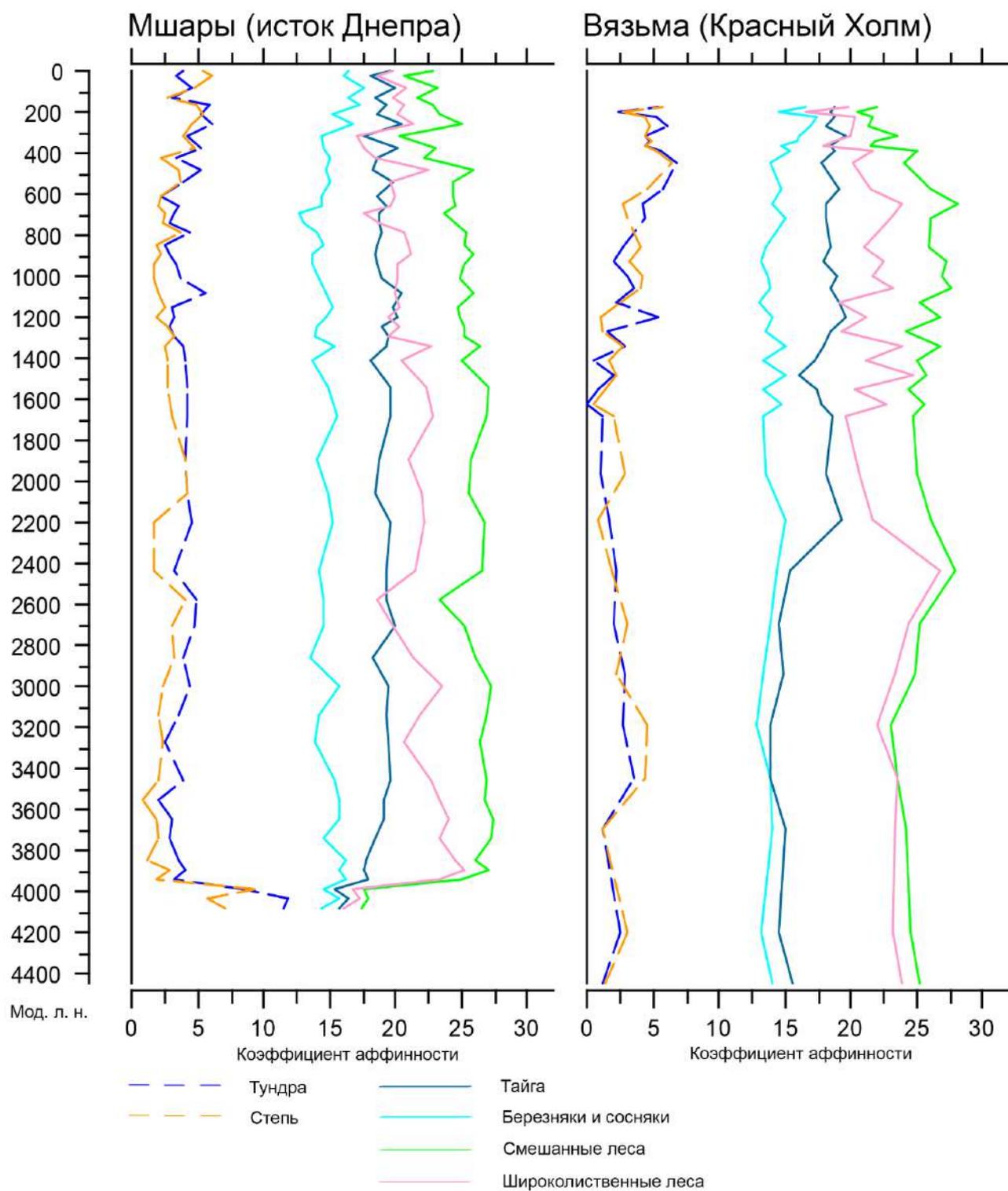


Рисунок 28. Полученные методом количественной биомизации реконструкции ландшафтов по пыльцевым данным болот Мшары и под деревней Красный Мох

Глава 6. Палеоклиматические реконструкции на основе полученных пыльцевых спектров

Одна из ключевых проблем количественных реконструкций палеоклиматических характеристик внутриконтинентальных областей — отсутствие надёжного прокси и универсальной методики. Наиболее часто для решения подобной научной задачи в качестве прокси используют палеоботанические данные и ископаемые пыльцевые спектры. Первый подход разрабатывался в СССР (Гричук, 1985), и его вплоть до недавнего времени использовали в практике (Novenko et al., 2009). В мировой практике для реконструкции палеоклиматов внутриматериковых областей часто используют метод современных аналогов (Modern Analogue Technique, MAT). Этот метод был разработан в 1980-е (Overpeck et al., 1985; Guliot, 1990), и до сих пор пользуется широкой популярностью (Mauri et al., 2015; Chevalier et al., 2020; Song L. et al., 2025).

Попыток количественных реконструкций климата для центральной России в целом известно немного (Khotinski, Klimanov, 1997; Velichko et al., 2001; Novenko et al., 2009; Novenko, Olchev, 2015), а для исследуемого региона подобных исследований не известно вовсе. Представленные ниже результаты — первая попытка количественной реконструкции палеоклиматических характеристик бассейна верхнего течения Днепра.

Для реконструкции климатических параметров (среднеиюльских, среднеянварских и среднегодовых температур, а также среднегодового количества осадков) использовался тренировочный набор данных поверхностных пыльцевых спектров из EMPD (Davis et al., 2013; Davis et al., 2020), адаптированный А. В. Мягкой (2021) к применению для колонок из Восточной Европы. Основой для тренировочного набора послужили данные, ограниченные географическим контуром 45°–70° с. ш. и 29°–60° в. д.

Для подготовки тренировочного набора абсолютные значения пыльцевых спектров были преобразованы в процентные. Из списка таксонов исключили те, которые преимущественно отражают локальный сигнал (например, споры *Sphagnum sp.* и *Polypodiaceae*, пыльца *Cyperaceae*, водных растений и других). Полученные реконструкции климатических параметров представлены на рисунках 29 и 30.

Наиболее достоверной оказалась реконструкция, выполненная по ископаемым пыльцевым спектрам болота Мшары. Это связано с несколькими факторами. Во-первых, значительная площадь болота способствует преобладанию регионального сигнала над локальным в его пыльцевом спектре. Исключение составляют спектры из нижних трёх образцов, где локальные таксоны (например, *Salix* и *Cyperaceae*) составляют более 60% учтённых пыльцевых зёрен. Учитывая, что такие таксоны были исключены из тренировочного набора, реконструкции, основанные на этих спектрах, дают ложный сигнал о резком снижении температур и осадков в период 4300–3900 л. н.

На интервале 3900–100 л. н. реконструкция климатических параметров по спектрам болота Мшары демонстрирует тренды, согласующиеся с другими палеоклиматическими исследованиями для Средней России (Мягкая, 2021; Mroczkowska et al., 2021). Среди них выделяются климатический оптимум бронзового века, похолодание на границе суббореала и субатлантика, римское потепление и похолодание малого ледникового периода. Малый ледниковый период проявляется во всех реконструкциях, выполненных для исследованных объектов, что подтверждает его влияние на климат региона.

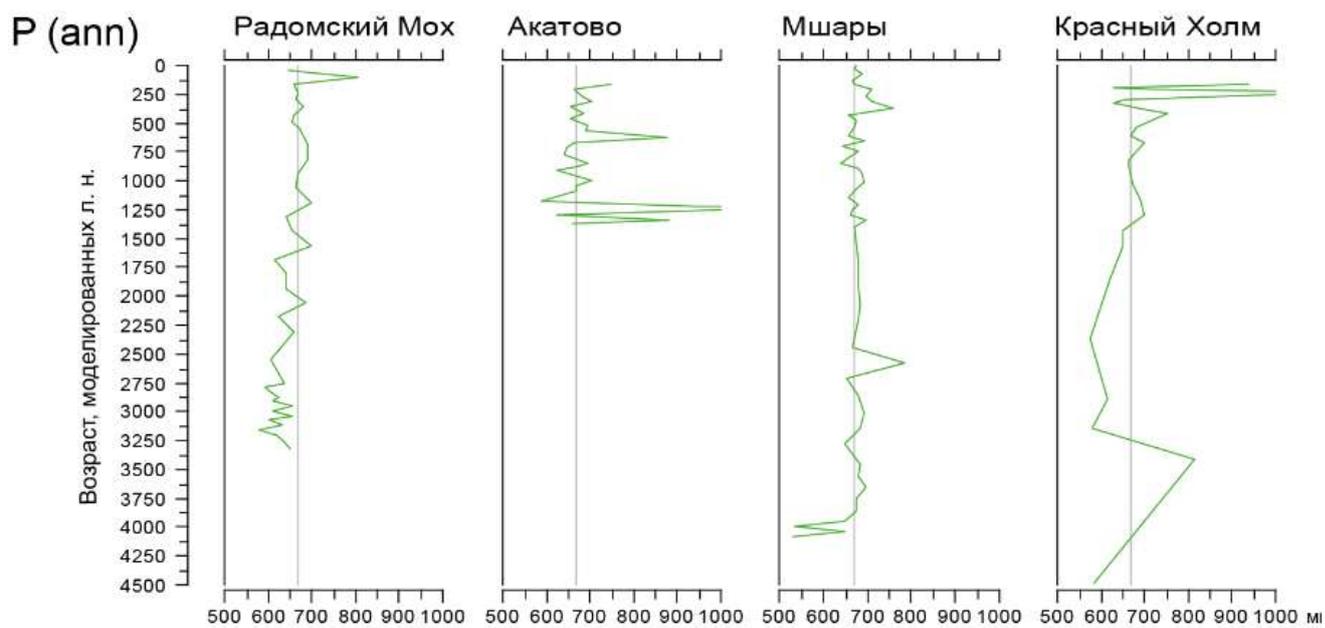


Рисунок 29. Реконструкция среднегодовых осадков методом подбора современных аналогов по полученным ископаемым спектрам. Референсной линией отмечено современное среднегодовое значение выпадаемых атмосферных осадков по Смоленской области.

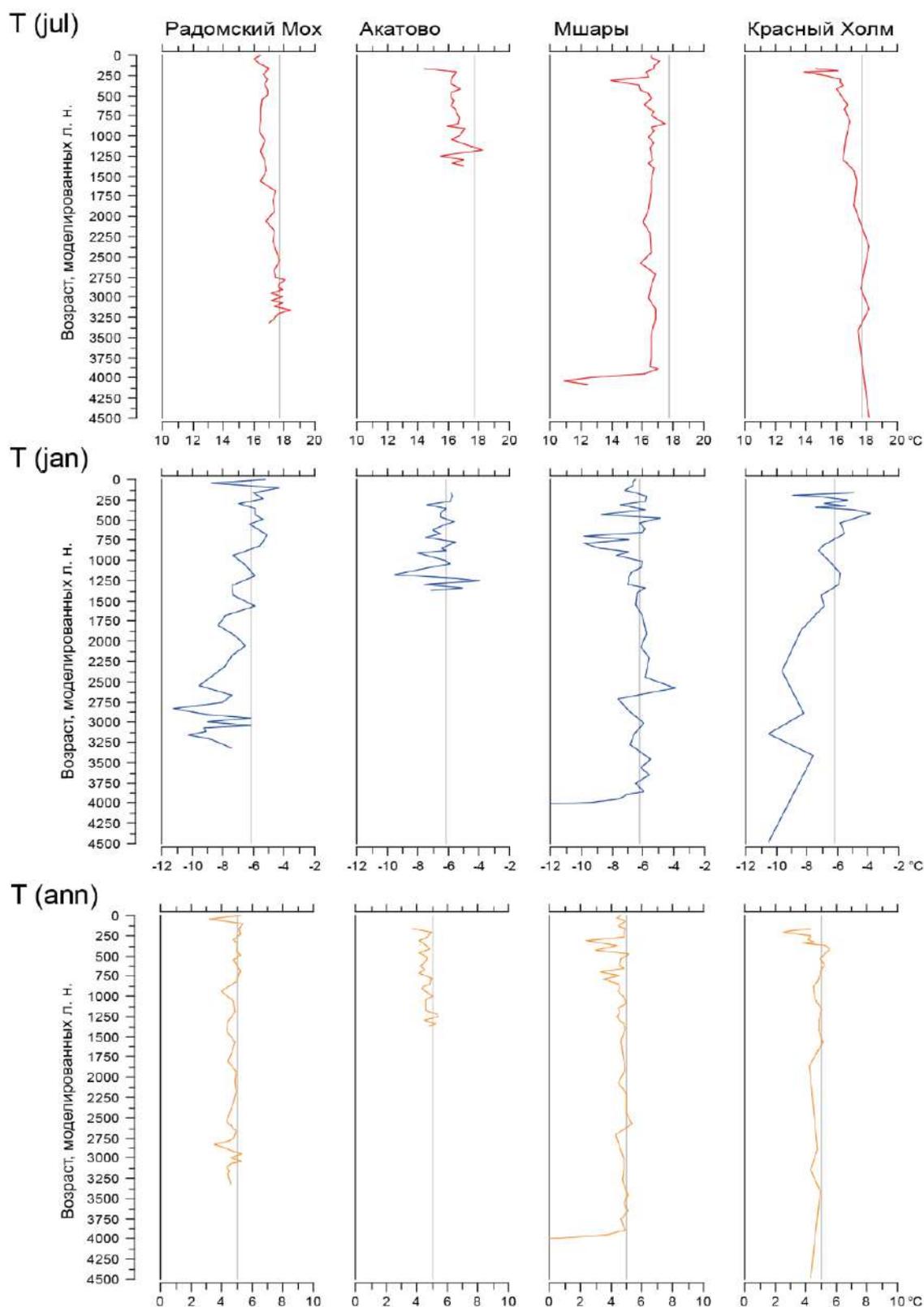


Рисунок 30. Реконструкции среднеюльских (T(jul)), среднянварских (T(jan)) и среднегодовых температур (T(ann)) методом подбора современных аналогов по полученным ископаемым спектрам. Референсной линией отмечены современные средние значения реконструированных климатических параметров по данным наблюдений для Смоленской области.

Глава 7. Реконструкция палеоареала ели обыкновенной (*Picea abies* L.) и границы природных зон

Данные спорово-пыльцевого анализа могут быть использованы для реконструкции палеоареалов видов и границ природных зон. Подобные попытки предпринимались ещё в период до широкого распространения методов радиоуглеродного датирования (Нейштадт, 1957; Гричук, Заклинская, 1948). Однако спорово-пыльцевой анализ имеет свои ограничения: пыльца анемофильных растений может разноситься далеко за пределы их ареалов, а её доля в пыльцевых спектрах, даже внутри ареала, может быть невысокой. Это может приводить к неточным реконструкциям (Latałowa, van der Knaap, 2006; Tollefsrud et al., 2015). Для повышения точности палеоареальных реконструкций такие данные необходимо дополнять результатами анализа ботанических макроостатков (Birks, Birks, 2000) и палеогенетическими исследованиями (Birks, 2016). Несмотря на эти ограничения, спорово-пыльцевой анализ остаётся важным методом для выявления широких закономерностей в палеохорологии и палеобиогеографии (Edwards et al., 2017).

Целью данного исследования не являлась реконструкция ареалов в масштабе всей Европы. Однако на основе полученных данных удалось зафиксировать движение ареала ели обыкновенной (*Picea abies*) в суббореале и раннем субатлантике. Этот вид стал объектом анализа благодаря своей роли как одного из ключевых бореальных элементов флоры. Поскольку ель обыкновенная представлена в пыльцевых спектрах на протяжении позднего голоцена, данные о её распространении могут использоваться для выявления динамики границы природных зон, а именно зоны широколиственных лесов и подзоны южной подтайги (Величко, 2009; Еловичева, 2004).

В полученных пыльцевых спектрах зафиксированы значительные различия в динамике ели между северной и южной точками исследований. В самой северной точке (болото Мшары, исток Днепра, 55°51'37" с. ш., 33°43'7" в. д.) первый пик кривой ели (15%) отмечен около 3700 л. н., а второй, более выраженный (18%), —

около 3300 л. н. В юго-восточной точке (безымянное болото в Вяземском районе, 55°5'5" с. ш., 34°20'41" в. д.) на этом временном интервале доля ели не превышала 3%. Первый значительный пик (19,5%) в юго-восточной точке зафиксирован около 1900 л. н., а второй (30%) — около 1500 л. н.

Сравнение данных с реконструкцией температур показывает, что пики доли ели совпадают с периодами снижения континентальности климата. Это позволяет предположить, что расширение ареала ели происходило не постепенно, а стадийно.

С учётом ограничений спорово-пыльцевого анализа можно заключить, что движение границы ареала ели и, соответственно, границы природных зон в период с 3300 до 1900 л. н. происходило со средней скоростью около 70 км за 1000 лет. Этот результат согласуется с существующими представлениями о движении ареалов растений (Кожаринов и др., 2010). Например, в Карелии скорость движения ареала ели составляла до 200 км за 1000 лет (Елина, 1981). Кроме того, расчёты совпадают с данными о диссеминации ели, которая оценивается в 1–2 км за поколение (Лосицкий, 1968; Мелихов, 1980). В снежные зимы семена ели могли переноситься на расстояния до 15 км (Молчанов, 1968).

Г. А. Елина (1981) выделяет три периода интенсивного распространения ели в голоцене: атлантический, суббореальный и субатлантический. Данное исследование охватывает только суббореал и субатлантик, но полученные данные дополняют существующие представления и могут быть использованы в дальнейших палеобиогеографических исследованиях.

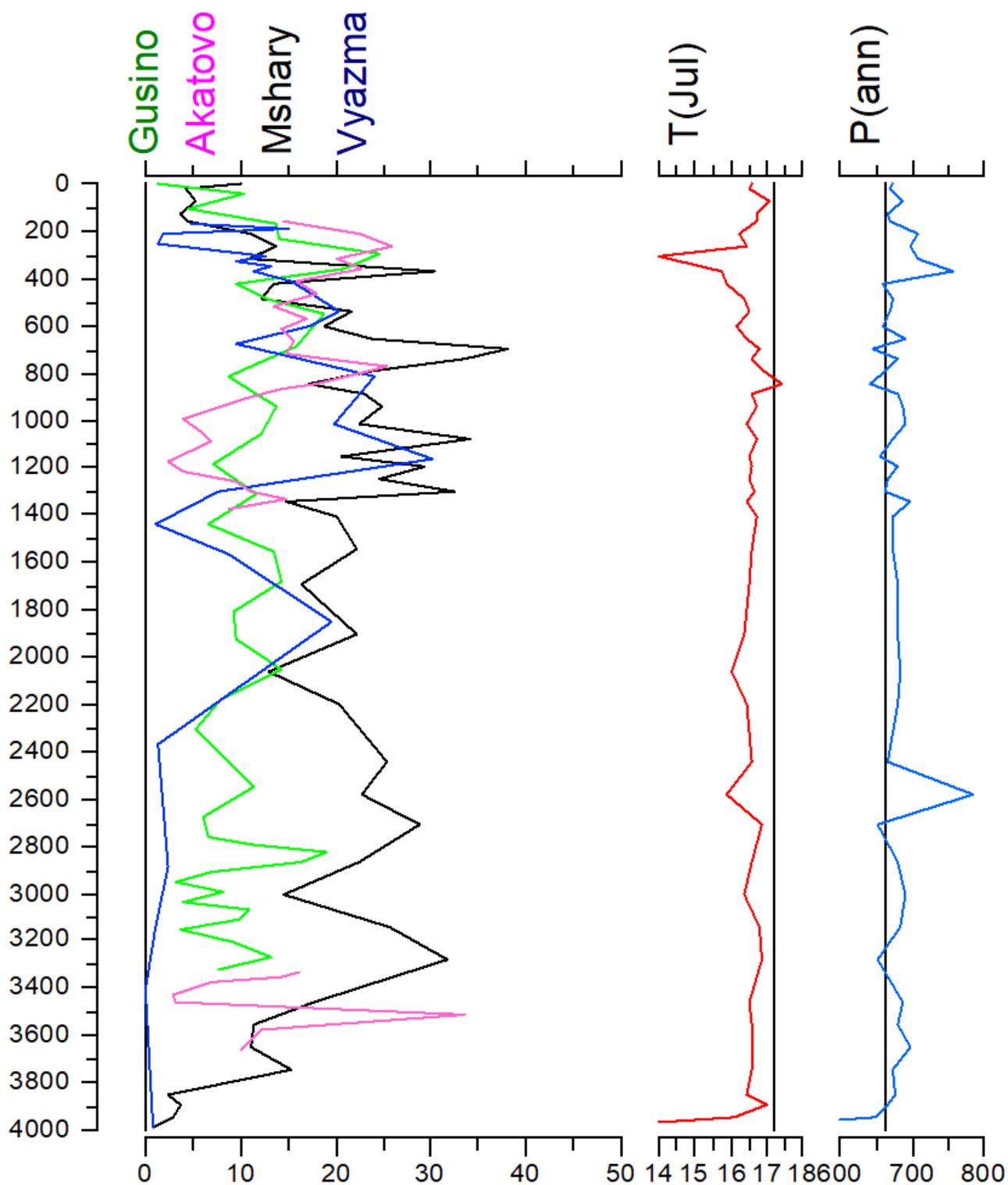


Рисунок 31. Сравнение кривых динамики ели на 4 объектах исследования (Gusino – урочище Радомский Мох; Akatovo – безымянное болото близ Акатовского озера; Mshary – болото Мшары (Исток Днепра), Vyazma – безымянное болото близ деревни Красный Холм под Вязьмой) и выполненные по пыльцевому спектру болота Мшары реконструкции среднеиюльских температур (T(jul)) и среднегодовых осадков (P(ann)).

Глава 8. Динамика ареала граба обыкновенного (*Carpinus betulus* L.) в голоцене

Современный ареал граба обыкновенного (*Carpinus betulus* L.), согласно данным Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2021), охватывает Центральную и Западную Европу, Малую Азию, Кавказ и Закавказье. На территории Российской Федерации граб встречается исключительно на Кавказе. Самые восточные находки, зафиксированные в GBIF и основанные на пользовательских данных iNaturalist, отмечены на Минской возвышенности, что соответствует данным, приведённым в Флоре СССР (1936). Единичные находки граба зарегистрированы в юго-западной части Брянской области, на границе с Украиной и Республикой Беларусь.

Однако многочисленные свидетельства — как прямые, так и косвенные — демонстрируют, что в голоцене ареал граба распространялся значительно дальше на восток. Например, пыльца *Carpinus betulus* обнаруживается в ископаемых пыльцевых спектрах из Псковской (Nosova et al., 2019; Tarasov et al., 2019; 2022; Kittel et al., 2020), Московской (Kremenitski et al., 2000; Miagkaia, Ershova, 2020) и других областей России.

Ещё в 1957 году М. И. Нейштадт обратил внимание на присутствие пыльцы граба в ископаемых спектрах. По его мнению, расселение граба происходило в среднем голоцене на фоне смягчения климата. Построенные им карты, основанные на данных спорово-пыльцевого анализа, показывают, что максимальное распространение граба на Русской равнине приходилось на суббореал. После этого его ареал постепенно сокращался, приближаясь к современным границам.

Исследования О. К. Борисовой (2014) подтверждают, что пыльца граба встречается в современных поверхностных спектрах по всей Европейской России, хотя её концентрация крайне мала — всего несколько зёрен на тысячу. Это объясняется дальним заносом пыльцы, так как граб, как и многие анемофильные деревья, продуцирует её в больших количествах. Для сравнения: в местах произрастания граба доля его пыльцы в спектре достигает 20–30%.

Древесина граба также была обнаружена в составе неолитических деревянных конструкций на археологическом памятнике Замостье-2 (Lozovski et al., 2014). Причём граб оказался самой распространённой породой, составляя 22% от общей массы древесины. Содержание пыльцы граба в отобранных на археологическом памятнике образцах также высокое (Ершова, 2013). Эти находки датированы в интервале от 5544 ± 51 до 6300 ± 45 14С лет назад (6443–6217 до 7324–7042 кал. лет назад), что соответствует позднему атлантику и раннему бореалу — самым тёплым и влажным периодам голоцена, подходящим для произрастания граба. Возможно, существенно менее значимое присутствие граба в пыльцевых спектрах этого периода в образцах, отобранных в других локациях, и из кернов водно-болотных отложений, свидетельствует о существовании около стоянки Замостье-2 некоего рефугиума граба.

Европейские ботаники (Huntley et al., 1989; Skyes et al., 1996) отмечают, что современное распространение граба ограничивают следующие климатические параметры: среднегодовая температура холодного месяца (от -8 до $+5$ °С), сумма активных температур (не ниже 1100) и коэффициент увлажнения в ассимиляционный период (коэффициент Пристли-Тейлора, $\alpha \approx 0.7$).

В оптимум голоцена граб, вероятно, занимал склоны южной экспозиции с богатыми карбонатными почвами и мог проникать далеко на северо-восток, на Смоленско-Московскую возвышенность, как предполагает О. К. Борисова (2016). Суббореальное похолодание и усиление континентальности климата, вероятно, стали причинами сокращения ареала граба и его движения на юго-запад. Полученные данные не охватывают климатический оптимум голоцена, но присутствие пыльцы граба в спектрах свидетельствует о её дальнем заносе. Выявленные результаты позволяют предположить, что граница ареала граба в позднем голоцене двигалась плавно, с северо-северо-востока на юго-юго-запад.

В наиболее восточных локациях пыльца граба исчезает из спектра после малого ледникового периода (280 л. н.). Возможно, это отражает ускоренное сокращение ареала. В западных локациях, таких как урочище Радомский Мох, расположенное примерно в 240 км восточнее современных границ граба, его

пыльца встречается даже в рецентных спектрах. Динамика кривой граба на этом объекте свидетельствует о скачкообразном движении границы ареала, причём наиболее выраженные скачки приходятся на поздний суббореал и ранний субатлантик. Эти скачки коррелируют с понижением среднеиюльских температур и усилением засушливости, зафиксированными в реконструированной климатической модели.

Данное исследование подкрепляет выводы о том, что ареал граба в голоцене был существенно шире современного и сокращался постепенно, с фазами интенсивного «отступления». Дополнительные исследования ископаемых пыльцевых спектров и ботанических макроостатков помогут уточнить динамику ареала и её связь с климатическими изменениями.

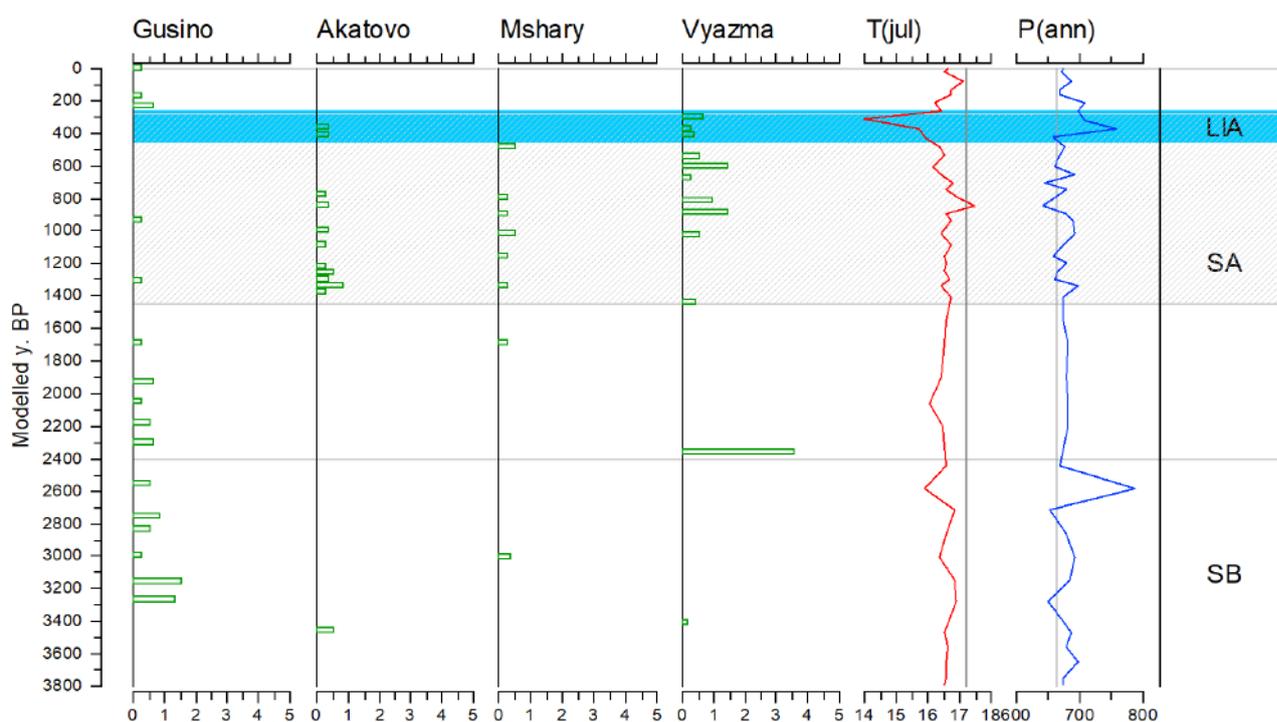


Рисунок 32. Сравнение пыльцевых спектров граба обыкновенного (*Carpinus betulus* L.) из разных спорово-пыльцевых колонок и палеоклиматические реконструкции среднеиюльских температур (T(jul)) и среднегодовых осадков (P(ann)). Модели выполнены по данным колонки из болота Мшары. Спектры расположены по градиенту долготы объектов исследования с запада на восток. SA – субатлантик, SB – суббореал, LIA – малый ледниковый период (выделен синей заливкой). Период наиболее частой встречаемости пыльцы граба в большинстве спектров выделен серой заливкой.

Заключение

На основании данных спорово-пыльцевого анализа и использования как качественных, так и количественных методов удалось реконструировать динамику растительности бассейна верховьев Днепра за последние 4,5 тыс. лет и выявить основные факторы, определяющие её изменения. Несмотря на ограниченное количество радиоуглеродных дат, схожесть полученных по разным объектам результатов позволяет предположить, что датирование было достаточным, а моделирование хронологических привязок — достаточно точным.

На протяжении всего позднего голоцена растительность бассейна верхнего течения Днепра формировалась под действием антропогенного и климатического факторов. В этот период в регионе происходило формирование коренного типа растительности — смешанных хвойно-широколиственных лесов. На севере исследуемого района этот процесс начался около 4200 л. н., а на юго-востоке завершился примерно 2500 л. н. Развитие современной растительности шло за счёт постепенного внедрения бореальных элементов в неморальные сообщества.

Одновременно с изменениями, обусловленными климатическими причинами, происходило антропогенное преобразование экосистем. Результаты исследования позволили выделить пять волн антропогенного воздействия на экосистемы района исследования. Первая волна — земледелие бронзового века — подтверждается как археологическими данными, так и пыльцевыми. Самая раннее из пыльцевых свидетельств было выявлено в долине р. Катynки и датируется 4800 кал. л. н. Большая часть свидетельств этого периода датируется периодом 4200–3500 кал. л. н. Вторая волна (2900–2800 л. н. — граница бронзового и раннего железного века) проявляется пиком пыльцы *Cerealia* и увеличением доли вторичных древесных пород. Археологических данных, связанным с этим периодом, пока нет. Третья волна (2300–2000 л. н. — римское время) связана со сведением ольшаников вблизи болот. Четвёртая (1700–1150 л. н. — великое переселение народов и раннее средневековье) и пятая (около 900 л. н., XI–XII вв.) волны характеризуются резким сокращением площадей коренных лесов и

расширением открытых пространств. Отдельный интерес вызывает ослабление антропогенной нагрузки на экосистемы между третьей и четвёртой волной. Также во всех изученных пыльцевых спектрах наблюдается резкое снижение антропогенного сигнала в период малого ледникового периода (500–350 л. н., XVI–XVIII вв.).

Вопрос происхождения исследуемых болот требует дальнейшего изучения. Три из них образовались в результате заболачивания открытых водоёмов в узкий интервал времени (4500–3500 л. н.). Возможно, это связано с влиянием глобального климатического события “4,2 тыс. л. н.”, а возможно — с антропогенным воздействием. Дальнейшее формирование исследуемых объектов происходило по схожей схеме: начиналось со стадии эу-мезотрофного болота с участками открытой воды, плавно переходя к олиго-мезотрофной стадии.

Полученные результаты восполняют пробел в географическом покрытии Средней России палеогеографическими и палеоэкологическими исследованиями, а также ставят ряд вопросов. В частности, осталось не ясным, что именно инициировало процессы болотообразования в районе исследования около 4500–4000 л. н., где именно проходит граница расселения культур эпохи великого переселения народов и чем она может быть обусловлена. Остаются не до конца выясненной динамика климата района исследования: полученные по пыльцевым данным результаты позволяют делать выводы о трендах (похолоданиях и потеплениях, увеличении и уменьшении количества осадков), но не о количественных характеристиках климата. Для их более точных количественных реконструкций, вероятно, следует использовать более широкий набор прокси и усовершенствовать выборку современных пыльцевых спектров и таксонов, применяемых для палеоклиматических реконструкций.

Представленное к защите исследования также даёт довольно общее представление о масштабах и характере антропогенного преобразования ландшафтов в позднем голоцене. Для составления более детальных количественных реконструкций динамики экосистем — в частности, динамики лесопокрываемых территорий, — требуется более плотное покрытие территории

современной подзоны подтайги (и сопредельных природных зон) палинологическими исследованиями, результаты которых были бы привязаны к абсолютной хронологической шкале.

Выявленные волны антропогенного преобразования растительности исследуемого региона позволяют сделать предположения о степени заселённости региона в доисторическом прошлом и степени археологической изученности региона. По-видимому, в окрестностях всех исследованных болот присутствуют ещё не открытые археологические памятники.

Выводы

1. Установлено, что смешанные елово-широколиственные леса в бассейне верхнего течения Днепра сформировались в позднем голоцене. На севере региона этот процесс начался около 4200–4000 л. н., тогда как на юго-востоке — значительно позже (2500–1900 л. н.). Это подтверждается ростом доли пыльцы *Picea abies* и результатами количественной реконструкции биомов, отражающими внедрение таёжных элементов в неморальные сообщества.
2. Антропогенный фактор оказал значительное влияние на изменение экосистем региона в позднем голоцене. Выявлено пять волн антропогенного влияния на экосистемы Смоленской области: 4200–3500 л. н. (бронзовый век), 2900–2800 л. н. (бронзовый век, начало раннего железного века), 2300–2000 л. н. (ранний железный век), 1700–1150 л. н. (эпоха Великого переселения народов, раннее средневековье), с 900 л. н. по настоящее время (средневековье и современность). Это подтверждается увеличением доли вторичных лесов, наличием пиков пыльцы культурных растений, индикаторов выпаса и осветления. Большая часть пыльцевых сигналов антропогенной деятельности коррелируют с имеющимися археологическими данными.
3. На западе Смоленской области антропогенная трансформация ландшафтов носила постепенный характер, начиная с бронзового века. На востоке отмечен

период заустения между железным веком и ранним средневековьем. Эти различия подтверждаются динамикой пыльцевых спектров.

4. Малый ледниковый период (520–350 л. н.) оказался важным этапом в исторической динамике региона. В этот период наблюдается снижение антропогенного воздействия на экосистемы, сопровождающееся восстановлением лесных площадей, что отражается в пыльцевых спектрах.
5. Возможно наличие археологических памятников, еще не обнаруженных в исследуемых районах. В частности, пыльцевые спектры из районов, удаленных от известных археологических объектов, свидетельствуют о наличии человеческой активности, что может указывать на присутствие еще не открытых археологических памятников.
6. Исследованные болота имеют общие закономерности формирования: большинство из них начали образовываться примерно 4500–4000 л. н., проходя стадии развития от эу-мезотрофных болот с участками открытых водоемов до олиго-мезотрофных болот. Этот процесс болотообразования совпадает с климатическими изменениями и антропогенным воздействием.
7. Применение AMS-радиоуглеродного датирования, байесовского моделирования и интеграция данных в международные базы повысили точность хронологических и палеоэкологических реконструкций, выполненных в Смоленской области. Это создаёт основу для метаанализов в масштабах Восточной Европы. Полученные также могут быть использованы для уточнения археологических данных и разработки мер по охране природных экосистем в условиях глобальных климатических изменений.

Список литературы и прочих источников

1. Andersen S.T. A late-glacial pollen diagram from southern Michigan, USA // *Bulletin of the Geological Society of Denmark*. 1954. V. 80. P. 140-155.
2. Arnold J.R., Libby W.F. Age Determinations by Radiocarbon Content: Checks with Samples of Known Age // *Science*. 1949. V. 110. № 2869. P. 678-680.
3. Auer V. Zur Kenntnis der Stratigraphie der mittelösterbottnischen Moore // *Acta Forestalia Fennica*. 1921. V. 18. P. 1-40.
4. Becquerel H. The radioactivity of matter // *Nature*. 1901. V. 63. № 1634. P. 396-398.
5. Berglund B.E. Vegetation and human influence in South Scandinavia during prehistoric time // *Oikos*. 1969. V. 12. P. 9-28.
6. Binney H. A. et al. The distribution of late-Quaternary woody taxa in northern Eurasia: Evidence from a new macrofossil database // *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 156. P. 135–145.
7. Birks H. J. B. Contributions of Quaternary Botany to Modern Ecology and Biogeography // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2019. Vol. 28. No. 5. P. 505–521.
8. Birks H.H., Birks H.J.B. Future uses of pollen analysis must include plant macrofossils // *Journal of Biogeography*. 2000. V. 27. № 1. P. 31-35.
9. Birks H.J.B. Fifty years of Quaternary pollen analysis in Fennoscandia 1954–2004 // *Grana*. 2005. V. 44. № 1. P. 1-22.
10. Birks H.J.B., Berglund B.E. One hundred years of Quaternary pollen analysis 1916–2016 // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2018. V. 27. № 2. P. 271-309.
11. Birks H.J.B., Felde V.A., Seddon A.W.R. Biodiversity trends within the Holocene // *The Holocene*. 2016. V. 26. № 6. P. 994-1001.
12. Birks H.J.B., Webb T. III, Berti A.A. Numerical analysis of pollen samples from central Canada: a comparison of methods // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1975. V. 20. № 3. P. 133-169.
13. Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Analysis*. 2011. Vol. 6. No. 3. P. 457–474.

14. Blytt A. Essay on the Immigration of the Norwegian Flora during Alternating Rainy and Dry Periods. Christiania: Alb. Cammermeyer, 1876. 89 p.
15. Boltwood B. B. Ultimate Disintegration Products of the Radio-Active Elements, Part II: Disintegration Products of Uranium // American Journal of Science. 1907. Vol. 23. P. 78–88.
16. Borisova O.K., Novenko E.Y., Velichko A.A., Kremenetski K.V., Junge F.W., Boettger T. Vegetation and climate changes during the Eemian and Early Weichselian in the Upper Volga region (Russia) // Quaternary Science Reviews. 2007. V. 26. № 19-21. P. 2574-2585.
17. Bronnikova M.A., Bobrov A.A., Zazovskaya E.P. Local landscape evolution related to human impact of an early medieval pre-urban center in the Upper Dnieper region (Central Russian Plain): an interdisciplinary experience // Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 2003. V. 20. № 3. P. 245-262.
18. Brooke J.L. Climate change and the course of global history: a rough journey. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 648 p.
19. Chevalier M. et al. Palaeoclimatic variability in the Northern Hemisphere during the last 2000 years reconstructed from pollen data // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 211. P. 103384.
20. Curie P., Curie M., Becquerel H. Sur les corps radioactifs // Séances de l'Académie des Sciences. Paris: Gauthier-Villars, 1902. V. 134. P. 85-87.
21. Dau J. H. Allerunterthänigster Bericht an die Königliche Dänische Rentenkammer über die Torfmoore Seelands nach einer im Herbste 1828 deshalb unternommenen Reise: Für Deutsche enthaltend: wichtige Zusätze, neue Aufklärungen und bestimmtere Beweise zu seinem Handbuche über den Torf. Gyldendahl u. Hinrichs, 1829. 316 p.
22. Davis B. A., Chevalier M., Sommer P., Carter V. A., Finsinger W., Mauri A., Zimny M. et al. The Eurasian Modern Pollen Database (EMPD), version 2 // Earth System Science Data. 2020. V. 12. № 4. P. 2423-2445.

23. Davis B. A., Zanon M., Collins P., Mauri A., Bakker J., Barboni D., Kaplan J. O. et al. The European modern pollen database (EMPD) project // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2013. V. 22. № 6. P. 521-530.
24. Djamali M., Cilleros K. Statistically significant minimum pollen count in Quaternary pollen analysis: the case of pollen-rich lake sediments // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2020. V. 275. P. 104-156.
25. Draper P. A comparison of pollen spectra of old and young bogs in the Erie Basin // *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*. 1929. V. 9. P. 50-53.
26. Edwards K. J., Fyfe R. M., Jackson S. T. The first 100 years of pollen analysis // *Nature Plants*. 2017. V. 3. № 2. P. 1-4.
27. Erdtman G. *An Introduction to Pollen Analysis*. Waltham: Chronica Botanica Company, 1943. 239 p.
28. Erdtman G. *Handbook of Palynology: Morphology - Taxonomy - Ecology, An Introduction to the Study of Pollen Grains and Spores*. Copenhagen: Munksgaard, 1969. 486 p.
29. Ershova E. G., Alexandrovskiy A. L., Krenke N. A. Evolution of landscapes of the Moskva River floodplain in the Atlantic and Subboreal: Pedological and palynological records // *Catena*. 2016. V. 137. P. 611-621.
30. Ershova E. G., Krenke N. A., Kittel P., Lavrenov N. G. Archaeological sites in the Katynka river basin (Smolensk Region): Paleogeographic study // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020. V. 438. № 1. P. 012007.
31. Feurdean A. et al. The transformation of the forest steppe in the lower Danube Plain of south-eastern Europe: 6000 years of vegetation and land use dynamic // *Biogeosciences Discussions*. 2020. P. 1-32.
32. Fries M. Lennart von Post's pollen diagram series of 1916 // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1967. V. 4. № 1-4. P. 9-13.
33. Fries M. *Studies on the Pollen Morphology of Swedish Trees and Shrubs with Reference to Taxonomy and Forest History*. Stockholm: Almqvist & Wiksell, 1966. 123 p

34. Fyfe R. M., de Beaulieu J. L., Binney H., Bradshaw R. H., Brewer S., Le Flao A., Tonkov S. et al. The European Pollen Database: past efforts and current activities // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2009. V. 18. № 5. P. 417-424.
35. Githumbi E., Fyfe R., Gaillard M. J., Trondman A. K., Mazier F., Nielsen A. B. et al. European pollen-based REVEALS land-cover reconstructions for the Holocene: methodology, mapping and potentials // *Earth System Science Data*. 2022. V. 14. № 4. P. 1581-1619.
36. Global Biodiversity Information Facility [Электронный ресурс]. 2021. URL: [https://www.gbif.org/occurrence/map?country=RU&country=BY&country=UA&has_coordinate=true&has_geospatial_issue=false&taxon_key=2875818&geometry=POLYGON\(\(2.25441%2021.18683,121.48231%2021.18683,121.48231%2070.65813,-2.25441%2070.65813,-2.25441%2021.18683\)\)&occurrence_status=present](https://www.gbif.org/occurrence/map?country=RU&country=BY&country=UA&has_coordinate=true&has_geospatial_issue=false&taxon_key=2875818&geometry=POLYGON((2.25441%2021.18683,121.48231%2021.18683,121.48231%2070.65813,-2.25441%2070.65813,-2.25441%2021.18683))&occurrence_status=present) (дата последнего обращения: 11.05.2021)
37. Grimm E.C. Data analysis and display. In: Huntley B., Webb T. III (Eds.), *Vegetation History*. Kluwer Academic, Dordrecht, the Netherlands, 1988. P. 43–76.
38. Guiot, J. Methodology of the last climatic cycle reconstruction in France from pollen data // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1990. V. 80. № 1. P. 49-69.
39. Hajdas I., Zolitschka B., Ivy-Ochs S. D., Beer J., Bonani G., Leroy S. A., Suter M. et al. AMS radiocarbon dating of annually laminated sediments from Lake Holzmaar, Germany // *Quaternary Science Reviews*. 1995. V. 14. № 2. P. 137-143.
40. Head M.J. Formal subdivision of the Quaternary System/Period: Present status and future directions // *Quaternary International*. 2019. № 500. P. 32-51.
41. Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // *Journal of Paleolimnology*. 2001. V. 25. № 1. P. 101-110.
42. Herzsuh U., Böhmer T., Chevalier M., Dallmeyer A., Li C., Cao X. et al. Regional pollen-based Holocene temperature and precipitation patterns depart from the Northern Hemisphere mean trends // *EGUsphere*. 2022. P. 1-23.

43. Herzschuh U., Böhmer T., Li C., Chevalier M., Hébert R., Dallmeyer A., Cao X., Bigelow N. H., Nazarova L., Novenko E. Y., Park J., Peyron O., Rudaya N. A., Schlütz F., Shumilovskikh L. S., Tarasov P. E., Wang Y., Wen R., Xu Q., Zheng Z. LegacyClimate 1.0: a dataset of pollen-based climate reconstructions from 2594 Northern Hemisphere sites covering the last 30 kyr and beyond // *Earth System Science Data*. 2023. Vol. 15. P. 2235–2258.
44. Hicks S., Birks H. J. B. Numerical analysis of modern and fossil pollen spectra as a tool for elucidating the nature of fine-scale human activities in boreal areas // *Vegetation History and Archaeobotany*. 1996. V. 5. P. 257-272.
45. Huntley B., Webb T. III. Migration: species' response to climatic variations caused by changes in the earth's orbit // *Journal of Biogeography*. 1989. P. 5-19.
46. Jessen K. Moseundersøgelser i det nordøstlige Sjaelland // *Danmarks Geologiske Undersøgelse*. 1920. V. 34. 240 p.
47. Juggins S. C2 User Guide. Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation. Newcastle upon Tyne: Newcastle University, 2007.
48. Juggins S. C2: Software for ecological and palaeoecological data analysis and visualisation (user guide version 1.5). Newcastle upon Tyne: Newcastle University, 2007. 77 p.
49. Kamygina A., Ershova E. Palynology of Lake Motykino in the Holocene (Vologda region, Northwestern part of European Russia) // *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. № 4. C. 340–345.
50. Kaufman D. S. et al. A global database of Holocene paleotemperature records // *Scientific Data*. 2020. Vol. 7. No. 1. Kittel P. et al. On the border between land and water: The environmental conditions of the Neolithic occupation from 4.3 until 1.6 ka BC at Serteya, Western Russia // *Geoarchaeology*. 2020. Vol. 36. No. 2. P. 173–202.
51. Khotinsky, N. A., Klimanov, V. A. Alleröd, Younger Dryas and early Holocene palaeo-environmental stratigraphy // *Quaternary International*. 1997. V. 41. P. 67-70.

52. Kremenitski K. V., Borisova O. K., Zelikson E. M. The late glacial and Holocene history of vegetation in the Moscow region // *Paleontological Journal*. 2000. V. 34. P. 67-74.
53. Kullman L., Öberg L. Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective // *Journal of Ecology*. 2009. V. 97. № 3. P. 415-429.
54. Latałowa M., van der Knaap W. O. Late Quaternary expansion of Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. in Europe according to pollen data // *Quaternary Science Reviews*. 2006. V. 25. № 21-22. P. 2780-2805.
55. Lozovski V., Lozovskaya O., Mazurkevich A., Hookk D., Kolosova M. Late Mesolithic-Early Neolithic human adaptation to environmental changes at an ancient lake shore: The multi-layer Zamostje 2 site, Dubna River floodplain, Central Russia // *Quaternary International*. 2014. V. 324. P. 146-161.
56. Mangerud J. A. N. The chronostratigraphic subdivision in Norden: a review // *Striae*. V. 16. P. 65-70.
57. Mangerud J. A. N., Andersen S. T., Berglund B. E., Donner J. J. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification // *Boreas*. 1974. V. 3. № 3. P. 109-126.
58. Mangerud J., Birks H. J. B., Jäger K. D. Chronostratigraphical Subdivisions of the Holocene: A Review // *Striae*. 1982. Vol. 16. P. 1-6.
59. Mauri, A., Davis, B. A., Collins, P. M., Kaplan, J. O. The climate of Europe during the Holocene: a gridded pollen-based reconstruction and its multi-proxy evaluation // *Quaternary Science Reviews*. 2015. V. 112. P. 109-127.
60. Mazei Y. A., Tsyganov A. N., Ershova E. G. et al. Multi-proxy paleoecological reconstruction of peatland initiation, development and restoration in an urban area (Moscow, Russia) // *Diversity*. 2023. Vol. 15. No. 3. P. 448.
61. Mazei Y., Tsyganov A., Bobrovsky M. et al. Peatland development, vegetation history, climate change and human activity in Valdai uplands (central European Russia) during the Holocene: A multi-proxy palaeoecological study // *Diversity*. 2020. Vol. 12. No. 12. P. 462.

62. Mercuri A. M. et al. Pollen from archaeological layers and cultural landscape reconstruction: case studies from the Bradano valley (Basilicata, southern Italy) // *Plant Biosystems*. 2010. V. 144. № 4. P. 888-901.
63. Miagkaia A. V., Ershova E. G. 10 000-year pollen and plant macrofossil record from the Losiny Ostrov National Park (Moscow, Russia) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. No. 438. P. 012018.
64. Moore P. D., Webb J. A., Collinson M. E. *Pollen analysis* (2nd ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991. 216 p.
65. Mottl, O., Grytnes, J. A., Seddon, A. W., Steinbauer, M. J., Bhatta, K. P., Felde, V. A. et al. Rate-of-change analysis in paleoecology revisited: A new approach // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2021. V. 293. P. 104483.
66. Mroczkowska A., Pawłowski D., Gauthier E., Mazurkevich A., Luoto T. P., Peyron O., Kittel P. Middle Holocene climate oscillations recorded in the Western Dvina Lakeland // *Water*. 2021. V. 13. № 11. P. 1611.
67. Nosova M. B., Novenko E. Y., Severova E. E., Volkova O. A. Vegetation and climate changes within and around the Polistovo-Lovatskaya mire system (Pskov Oblast, north-western Russia) during the past 10,500 years // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2019. V. 28. № 2. P. 123-140.
68. Nosova M., Mazei N., Zakharov A., Zazovskaya E. 77. Kosilovo mire (Toropets district, Tver region, north-western Russia) // *Grana*. 2024. Vol. 63. No. 5–6. P. 398–401.
69. Novenko E. Y. Late Valdai pollen flora from loess sediments in the central East-European Plain: Paleoenvironmental reconstruction // *Quaternary International*. 2006. V. 152. P. 146-152.
70. Novenko E. Y., Tsyganov A. N., Mazei N. G., Kupriyanov D. A., Rudenko O. V., Bobrovsky M. V., Nizovtsev V. A. et al. Palaeoecological evidence for climatic and human impacts on vegetation in the temperate deciduous forest zone of European Russia during the last 4200 years: A case study from the Kaluzhskiye Zaseki Nature Reserve // *Quaternary International*. 2019. V. 516. P. 58-69.

71. Novenko E. Y., Volkova E. M., Nosova N. B., Zuganova I. S. Late Glacial and Holocene landscape dynamics in the southern taiga zone of East European Plain according to pollen and macrofossil records from the Central Forest State Reserve (Valdai Hills, Russia) // *Quaternary International*. 2009. V. 207. № 1-2. P. 93-103.
72. Novenko, E. Y., Olchev, A. V. Early Holocene vegetation and climate dynamics in the central part of the East European Plain (Russia) // *Quaternary International*. 2015. V. 388. P. 12-22.
73. Novenko, E., Olchev, A., Desherevskaya, O., Zuganova, I. Paleoclimatic reconstructions for the south of Valdai Hills (European Russia) as paleo-analogs of possible regional vegetation changes under global warming // *Environmental Research Letters*. 2009. V. 4. № 4. P. 045016.
74. Overpeck, J. T., Webb, T. I. I., Prentice, I. C. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of modern analogs // *Quaternary Research*. 1985. V. 23. № 1. P. 87-108.
75. Pleskot K., Rzepa G., Lis J., Kicińska A. The impact of historical mining and metallurgy on the heavy metal contamination of soils and sediments in the Olkusz ore district (South Poland) // *Catena*. 2020. Vol. 195. P. 104565.
76. Ponomarenko E. V., Ershova E. G., Stashenkov D. A., Ponomarenko D. S., Kochkina A. F. Tracing land use history using a combination of soil charcoal and soil pollen analysis: An example from colluvial deposits of the Middle Volga region // *Journal of Archaeological Science: Reports*. 2020. Vol. 31. P. 102269.
77. Ponomarenko E., Ershova E., Tomson P., Bakumenko V. A multi-proxy analysis of sandy soils in historical slash-and-burn sites: a case study from southern Estonia // *Quaternary International*. 2019. No. 516. P. 190–206.
78. Poska A., Väli V., Tomson P. et al. Reading past landscapes: combining modern and historical records, maps, pollen-based vegetation reconstructions, and the socioeconomic background // *Landscape Ecology*. 2018. Vol. 33. P. 529–546. DOI: 10.1007/s10980-018-0615-2.

79. Prentice C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // *Climate Dynamics*. 1996. Vol. 12. P. 185–194.
80. Prentice I. C., Cramer W., Harrison S. P., Leemans R., Monserud R. A., Solomon A. M. Special paper: a global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate // *Journal of Biogeography*. 1992. P. 117–134.
81. Ramsey C. B. Deposition models for chronological records // *Quaternary Science Reviews*. 2008. V. 27. № 1-2. P. 42-60.
82. Ramsey C. B., Lee S. Recent and planned developments of the program OxCal // *Radiocarbon*. 2013. V. 55. № 2-3. P. 720-730.
83. Reimer P. J. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. V. 62. № 4. P. 725-757.
84. Reitz E. J. et al. *Introduction to environmental archaeology*. London: Springer, 2012. 516 p.
85. Roberts N., Fyfe R. M., Woodbridge J., Gaillard M. J., Davis B. A., Kaplan J. O., Leydet M. et al. Europe's lost forests: a pollen-based synthesis for the last 11,000 years // *Scientific Reports*. 2018. V. 8. № 1. P. 1-8.
86. Santisteban J. I., Mediavilla R., Lopez-Pamo E., Dabrio C. J., Zapata M. B. R., García M. J. G., Martínez-Alfaro P. E. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? // *Journal of Paleolimnology*. 2004. V. 32. № 3. P. 287-299.
87. Sedov S. N., Zazovskaya E. P., Bronnikova M. A., Kazdim A. A., Rosov S. Y. Late Holocene man-induced environmental change in central Russian plain: paleopedological evidences from early-medieval archaeological site // *Chinese Science Bulletin*. 1999. V. 44. № 1. P. 159-165.
88. Sim T. G., Swindles G. T., Morris P. J., Baird A. J., Gallego-Sala A. V., et al., Regional variability in peatland burning at mid-to high-latitudes during the Holocene // *Quaternary Science Reviews*. 2023. V. 305. P. 108020.
89. Song, L., Jie, D., Xie, F., Gao, G., Cao, X. Enhanced human activities have disturbed the vegetation-climate relationship over the last millennium in the Changbai

- Mountains, north-east China // *Global and Planetary Change*. 2025. V. 245. P. 104701.
90. Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition // *The Holocene*. 2007. V. 17. № 2. P. 229-241.
91. Sugita S. Theory of quantitative reconstruction of vegetation II: all you need is LOVE // *The Holocene*. 2007. V. 17. № 2. P. 243-257.
92. Sykes M. T., Prentice I. C., Cramer W. A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates // *Journal of Biogeography*. 1996. P. 203-233.
93. Tarasov P. E., Savelieva L. A., Kobe F., Korotkevich B. S., Long T., Kostromina N. A., Leipe C. Lake Zhizhitskoye, East European midlatitudes, derived from radiocarbon-dated pollen and archaeological records // *Quaternary International*. 2022. V. 623. P. 184-197.
94. Tarasov P. E., Savelieva L. A., Long T., Leipe C. Postglacial vegetation and climate history and traces of early human impact and agriculture in the present-day cool mixed forest zone of European Russia // *Quaternary International*. 2019. V. 516. P. 21-41.
95. Tarasov P. E., Webb T. III, Andreev A. A., Afanas'eva N. B., Berezina N. A., Bezusko L. G., Zernitskaya V. P. et al. Present-day and mid-Holocene biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from the former Soviet Union and Mongolia // *Journal of Biogeography*. 1998. Vol. 25. No. 6. P. 1029–1053.
96. Tauber H. Investigations of the mode of pollen transfer in forested areas // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1967. V. 3. № 1-4. P. 277-286.
97. Tollefsrud M. M. et al. Late Quaternary history of North Eurasian Norway spruce (*Picea abies*) and Siberian spruce (*Picea obovata*) inferred from macrofossils, pollen, and cytoplasmic DNA variation // *Journal of Biogeography*. 2015. V. 42. № 8. P. 1431-1442.

98. Tolonen M. Palaeoecology of annually laminated sediments in Lake Ahvenainen, S. Finland. I. Pollen and charcoal analyses and their relation to human impact // *Annales Botanici Fennici*. 1978. Vol. 15. No. 3. P. 177–208.
99. Tomson P., Bunce R. G. H., Sepp K. The role of slash and burn cultivation in the formation of southern Estonian landscapes and implications for nature conservation // *Landscape and Urban Planning*. 2015. Vol. 137. P. 54–63.
100. Von Post L. Skogsträdpollen i sydsvenska torvmosselagerföljder // *Forhandlingar ved de*. 1918. V. 16. P. 433–465.
101. Walker M., Head M. J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L. C., Fisher D., Gkinis V., Long A., Newnham R., Rasmussen S. O., Weiss H. Subdividing the Holocene Series / Epoch: formalisation of stages/ages and subseries/subepochs, and designation of GSSPs and auxiliary stratotypes // *Journal of Quaternary Science*. 2019. № 34. P. 173–186.
102. Wasylkova K., Starkel L., Niedziałkowska E., Skiba S., Stworzewicz E. Environmental changes in the Vistula valley at Pleszów caused by Neolithic man // *Przegląd Archeologiczny Warszawa*. 1985. V. 33. P. 19–55.
103. Williams J. W., Grimm E. C., Blois J. L., Charles D. F., Davis E. B., Goring S. J., Takahara H. et al. The Neotoma Paleocology Database, a multiproxy, international, community-curated data resource // *Quaternary Research*. 2018. V. 89. № 1. P. 156–177.
104. Yang Y., Hu N. The spatial and temporal evolution of coordinated ecological and socioeconomic development in the provinces along the Silk Road Economic Belt in China // *Sustainable Cities and Society*. 2019. V. 47.
105. Zernitskaya V., Stančikaitė M., Vlasov B., Šeirienė V., Kisielienė D., Gryguc G., Skipitytė R. Vegetation pattern and sedimentation changes in the context of the Lateglacial climatic events: Case study of Staroje Lake (Eastern Belarus) // *Quaternary International*. 2015. V. 386. P. 70–82.
106. Археология. Учебник / Под редакцией академика РАН В.Л. Янина. 2-е издание, исправленное и дополненное. М.: Издательство Московского университета, 2012. 608 с.

107. Авдусин Д.А. Актуальные проблемы изучения древностей Смоленска и его ближайшей округи // В кн.: Авдусин Д.А. (ред.) Смоленск и Гнёздово (к истории древнерусского города). М.: МГУ, 1991. С. 3-20.
108. Александренков Э.Г., Жилин М.Г. Мезолитическая стоянка в Смоленском Поднепровье // Советская археология. 1982. № 1. С. 207-212.
109. Алисов Б.П. Климатология. М.: Изд-во МГУ, 1974. 299 с.
110. Бакуменко В. О., Ершова Е. Г. Пыльцевые индикаторы бывших полей в лесных почвах Звенигородской биостанции МГУ // *Поволжская археология*. 2021. Т. 38. № 4. С. 205–216.
111. Березина Н.А. История растительности национального парка «Смоленское Поозерье» // В кн.: Научные исследования в Национальном парке «Смоленское Поозерье» / под ред. С.М. Волкова. Смоленск, 2003. Вып. 1. С. 149-184.
112. Березина Н.А., Гольева А.А. Исследование лесов и их истории на территории национального парка «Смоленское Поозерье» // В кн.: Особо охраняемые территории в XXI веке: цели и задачи. Смоленск, 2002. С. 11-16.
113. Борисова О. К. Ландшафтно-климатические изменения в умеренных широтах Северного и Южного полушарий за последние 130 000 лет. М.: ГЕОС, 2008. 264 с.
114. Борисова О.К. Изменения растительности и климата в центральном регионе Русской равнины в голоцене: к проблеме участия граба в лесных сообществах // Материалы конференции «Природная среда и модели адаптации озерных поселений в мезолите и неолите лесной зоны Восточной Европы». СПб: ИИМК РАН, 2014. С. 37-40.
115. Борисова О.К. К проблеме участия граба обыкновенного (*Carpinus betulus* L.) в лесных сообществах центрального региона Русской равнины в голоцене // В кн.: Материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Динамика современных экосистем в голоцене» / под ред. С.Н. Удальцова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. С. 17-20.
116. Бронникова М.А., Успенская О.Н. Позднеголоценовая эволюция растительности и ландшафта на территории Гнездовского археологического

- комплекса // В кн.: Гнездово. Результаты комплексных исследований / под ред. В.В. Мурашевой. СПб: Альфарет, 2007. С. 162-182.
117. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature> (дата обращения: 18.05.2021).
118. Величко А. А., Кременецкий К. В., Негенданк Й., Минграм Й., Борисова О. К., Зеликсон Э. М., Новенко Е. Ю., Писарева В. В. Позднечетвертичная история растительности Костромского Заволжья по данным палинологического изучения донных осадков Галичского озера // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода (БКИЧП). 2001. № 64. С. 42–54.
119. Величко А.А., Ударцев В.П., Маркова А.К., Морозова Т.Д. Новые представления о возрасте днепровской и донской языков покровного оледенения Русской равнины // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 1977. № 6. С. 25-36.
120. Величко А.А. и др. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас-монография. М.: Геос, 2009.
121. Волкова Е.М., Новенко Е.Ю., Носова М.Б., Зацаринная Д.В. Динамика развития водораздельных болот на южной границе леса в Европейской России // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2017. Т. 122. № 1. С. 47-59.
122. Волкова Е. М., Новенко Е. Ю., Юрковская Т. К. Возраст болот Среднерусской возвышенности // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2020. № 4. С. 551–561.
123. Гнёздовский археологический комплекс: Материалы и исследования. Вып. 1 // Труды Государственного исторического музея. Вып. 210. М., 2018. 552 с.
124. Гольева А. А., Сыроватко А. С. Палеоэкология поселений раннего железного века – эпохи переселения народов в Среднем Поочье (результаты недавних

- исследований) // Археология Подмосковья: Материалы научного семинара. Вып. 18. М.: Институт археологии РАН, 2022. С. 35–42.
125. Гричук В.П., Заклинская Е.Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз, 1948. 223 с.
126. Гричук В.П. Реконструкция скалярных климатических показателей по флористическим материалам и оценка ее точности // Методы реконструкций палеоклиматов. 1985. М.: Наука, с. 20-28.
127. Гричук В.П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М.: Наука, 1989. 183 с.
128. Гунова В. С., Тарасов П. Е., Успенская О. Н., Пушенко М. Я., Мак-Доналд Г. История озера Тростенского и его окрестностей в голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2001. № 1. С. 1–30.
129. Елина Г.А. Принципы и методы реконструкции и картирования растительности голоцена. Л.: Наука, 1981. 159 с.
130. Еловичева Я. К., Якушко О. Ф., Крутоус Э. А., Литвинюк Г. И., Зубович С. Ф., Калечиц Е. Г., Санько А. Ф., Мотузко А. Н., Власов Б. П., Иванов Д. Л., Михайлов Н. Д., Оношко М. П., Ратников В. Ю. Голоцен Беларуси / под ред. Я.К. Еловичевой. Минск: Белорусский государственный университет, 2004. 241 с.
131. Еремеев И.И., Дзюба О.Ф. Очерки исторической географии лесной части Пути из варяг в греки: археологические и палеогеографические исследования между Западной Двиной и озером Ильмень. Минск: Нестор-История, 2010. 782 с.
132. Ершова Е. Г. Результаты ботанического и спорово-пыльцевого анализа по разрезам стоянки Замостье-2, 2013 г. // Замостье 2. Озерное поселение древних рыболовов эпохи мезолита-неолита в бассейне Верхней Волги. Санкт-Петербург: Издательство ИИМК РАН, 2013. С. 180–191.
133. Ершова Е.Г., Кренке Н.А. Археолого-палинологические исследования на Соборной горе в Смоленске // Российская археология. 2017. № 1. С. 87-95.

134. Зарецкая Н.Е., Костылева Е.Л. Новые данные по начальному этапу неолита Волго-Окского междуречья // Проблемы хронологии и этнокультурных взаимодействий в неолите Евразии. Санкт-Петербург, 2004. С. 52-55.
135. Зарецкая Н.Е., Костылева Е.Л. Радиоуглеродная хронология раннего этапа верхневолжской ранненеолитической культуры (по материалам стоянки Сахтыш-2а) // Российская археология. 2008. № 1. С. 5-14.
136. Зерницкая В.П., Симакова Г.И., Павлова И.Д. Признаки хозяйственной деятельности человека в пыльцевых спектрах голоцена Белоруссии // География и экология. 2001. № 16. С. 5-19.
137. Зерницкая В. П. Позднеледниковье и голоцен Беларуси: геохронология, осадконакопление, растительность и климат. Минск: Белорусская наука, 2022. 303 с., ил.
138. Кирюшкин В.Н. Формирование и развитие болотных систем. Л.: Наука, 1980. 88 с.
139. Краснов Ю.А., Михальченко С.Е., Патрик Г.К. Археологическая карта России: Смоленская область. Часть 1. Институт археологии РАН, 1997. 304 с.
140. Кренке Н.А., Ершов И.Н., Раева В.А. Городища Демидовка и Вязовеньки на Смоленщине: об иерархии, хронологии и культурной атрибуции // Российская археология. 2021. № 1. С. 102-121.
141. Кренке Н.А. Древности бассейна Москвы-реки от неолита до Средневековья: этапы культурного развития, формирование производящей экономики и антропогенного ландшафта. Москва; Смоленск, 2019. 392 с.
142. Кренке Н.А. Радиоуглеродная хронология фатьяновской культуры // Российская археология. 2019. № 2. С. 110-116.
143. Кренке Н.А., Ершов И.Н., Раева В.А. Смоленск и Гнёздово // Археологические вести. 2020. № 28. С. 296-303.
144. Кренке Н.А. М. Казанский, Н. В. Лопатин и др. Городища Демидовка и Вязовеньки на Смоленщине: об иерархии, хронологии и культурной атрибуции // Российская археология. 2021. № 1. С. 102-121.

145. Радиоуглеродное датирование археологических и природных объектов Смоленщины в 2014-2021 гг / Н. А. Кренке, Е. Г. Ершова, И. Н. Ершов и др. // Краткие сообщения Института археологии. 2022. № 267. С. 320-344.
146. Кренке Н. А., Ганичев К. А., Ершов И. Н. и др. Дискуссия о Смоленске — граде кривичей // Краткие сообщения Института археологии. 2023. № 271. С. 281-302.
147. Куликова Г.Г. Краткое пособие к ботаническому анализу торфа. М.: Изд-во МГУ, 1974. 96 с.
148. Лебедев Г.С. Эпоха викингов в Северной Европе и на Руси. СПб.: Евразия, 2005. 640 с.
149. Лосицкий К.Б. Научные основы определения оптимального состава насаждений и лесов // Лесное хозяйство. 1968. № 11. С. 14-18.
150. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1980. 406 с.
151. Молчанов А.А. Лес и окружающая среда. М.: Наука, 1968. 247 с.
152. Мягкая А.В. Растительность и климат Московской области в голоцене по данным спорово-пыльцевого анализа: Выпускная квалификационная работа магистра. Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. 67 с.
153. Нейштадт М.И. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1957. 404 с.
154. Немирова Е.С., Мартынов Б.И. К изучению растительности Смоленской области // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2010. № 2. С. 74-79.
155. Новенко Е.Ю. Динамика ландшафтов и климата в Центральной и Восточной Европе в голоцене: прогнозные оценки изменения природной среды // Геоморфология. 2021. № 3. С. 24-47.
156. Новенко Е.Ю., Цыганов А.Н., Волкова Е.М., Бабешко К.В. Динамика ландшафтов и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2014. № 6. С. 24-31.

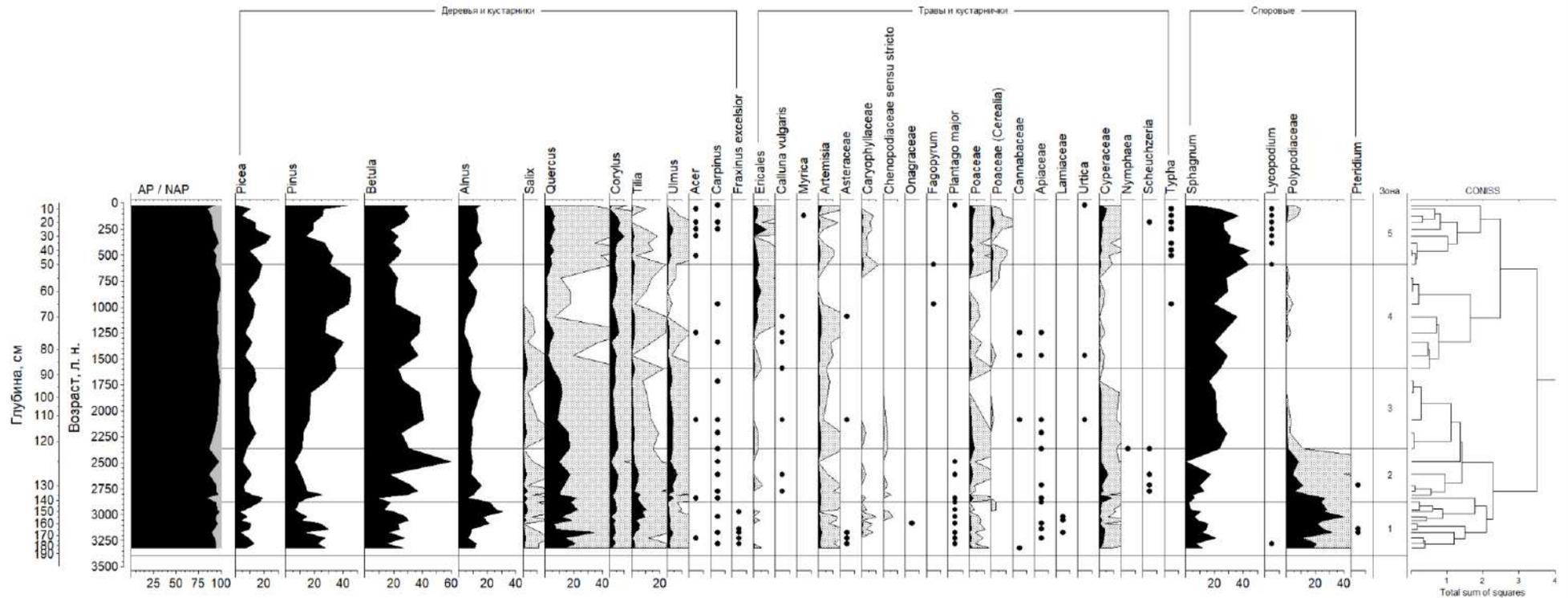
157. Носова, М. Б. Спорово-пыльцевые диаграммы голоценовых отложений как источник информации об антропогенном воздействии на растительность в доисторический период (на примере Центрально-Лесного заповедника) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2009. Т. 114. № 3. С. 30-36.
158. Носова, М. Б. Антропогенное воздействие на растительность Полистово-Ловатской болотной системы по палинологическим данным // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2017. Т. 122, № 4. С. 87-95.
159. Носова М.Б., Новенко Е.Ю., Зерницкая В.П., Дюжова К. Палинологическая индикация антропогенных изменений растительности восточно-европейских хвойно-широколиственных лесов в позднем голоцене // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 4. С. 72-84.
160. Огуреева Г., Микляева И., Сафронова И.Ю., Юрковская Т. Карта "Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий" (1:8 000 000). 1999.
161. Петрухин В.Я. К истории давней дискуссии: Смоленск и Гнёздово // В кн.: Каинов С.Ю. (ред.) Гнёздовский археологический комплекс: Материалы и исследования. Вып. 1, Труды ГИМ, Вып. 210. М.: ГИМ, 2018. С. 462-473.
162. Петрухин В.Я. Русь в IX–X веках. От призвания варягов до выбора веры. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФОРУМ; НЕОЛИТ, 2014. 464 с.
163. Погуляев Д.И., Шостьина А.А. Природа и физико-географические районы Смоленской области. Смоленское книжное изд-во, 1963. 128 с.
164. Погуляев Д.И., Шостьева А.А. Карта "Ландшафтно-географическое районирование" // Атлас Смоленской области / отв. ред. В.Г. Васильев. М.: 1964. С. 31.
165. Пономаренко Е. В., Ершова Е. Г., Кренке Н. А., Бакуменко В. О. Следы подсечного земледелия железного века под славянскими курганами на Звенигородской биостанции МГУ // Краткие сообщения Института археологии РАН (КСИА). 2021. № 263. С. 60–73.

166. Пушкина Т.А. Первые Гнёздовские клады: история открытия и состав // Историческая археология. Традиции и перспективы (К 80-летию со дня рождения Д.А. Авдусина). М., 1998. С. 370-377.
167. Рыбкина С.В. Леса Смоленской области // В кн.: Природа Смоленской области / под ред. В.А. Шкаликова. Смоленск: Изд-во "Универсум", 2001. С. 230-255.
168. Сафарова С.А. Спорово-пыльцевой анализ: история становления // Природа. 2014. Т. 1186. № 6. С. 58-62.
169. Сафронов А. Схема бассейна реки Днепр [Электронный ресурс]. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10278309> (дата обращения: 18.05.2021). CC BY-SA 3.0.
170. Семенищенков Ю.А. Ботанико-географическое районирование российской части днепровского бассейна. Брянск: РИО БГУ, 2018. 60 с.
171. Сукачев В.Н. Материалы по изучению болот и торфяников озерной области // Труды пресноводной биологической станции СПб общества естествоиспытателей. 1906. Т. 2. С. 161-262.
172. Сукачев В.Н. Болота, их образование, развитие и свойства. 2-е изд. Петроград: Новая деревня, 1923. 128 с.
173. Фаустова М.А., Чеботарёва Н.С. Белорусская ССР и Смоленская область // В кн.: Последний ледниковый покров на Северо-Западе Европейской части СССР (К VIII конгрессу ИНКВА, Париж, 1969). М.: Наука, 1969. С. 151-192.
174. Флора СССР: в 30 т. / гл. ред. В.Л. Комаров. Т. 5 / ред. тома В.Л. Комаров. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. С. 258-261.
175. Хотинский Н. А. Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1977. 200 с.
176. Шмидт Е. А. Племена Смоленского Поднепровья и Подвинья в эпоху великого переселения народов // Социально-экономическое развитие России и зарубежных стран. Смоленск, 1972. С. 41–45.

177. Шмидт Е.А. Племена верховьев Днепра до образования древнерусского государства: днепро-двинские племена (VIII в. до н. э. — III в. н. э.). М.: Прометей, 1992. 209 с.

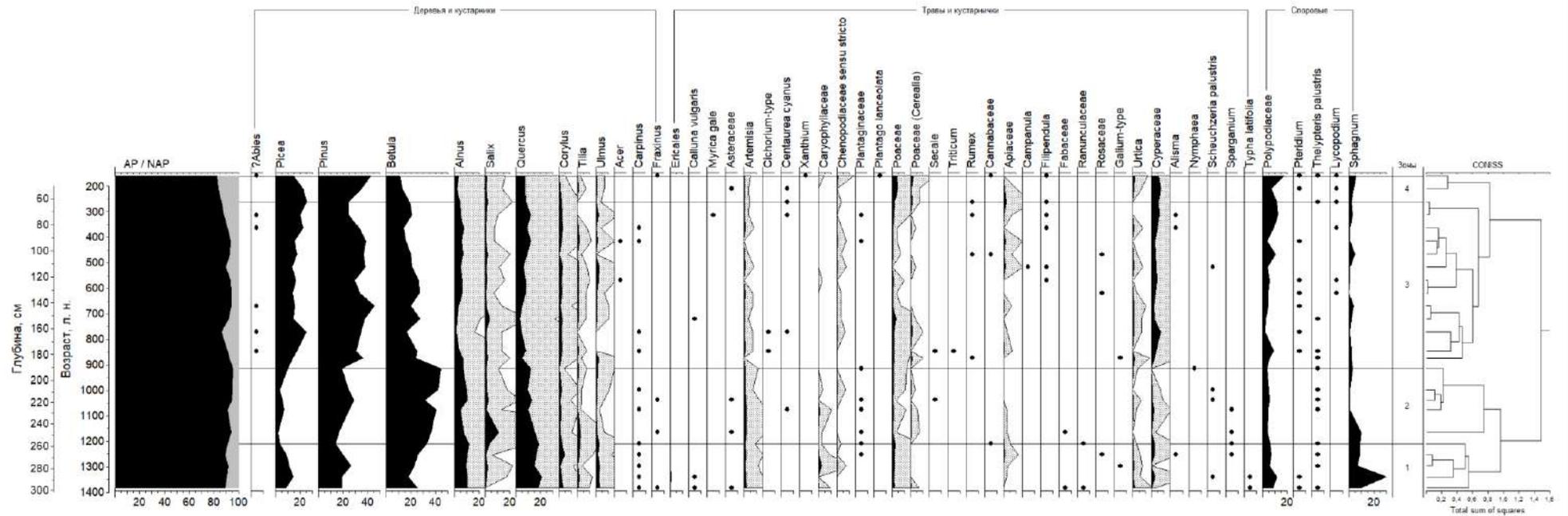
Приложение

Приложение 1.



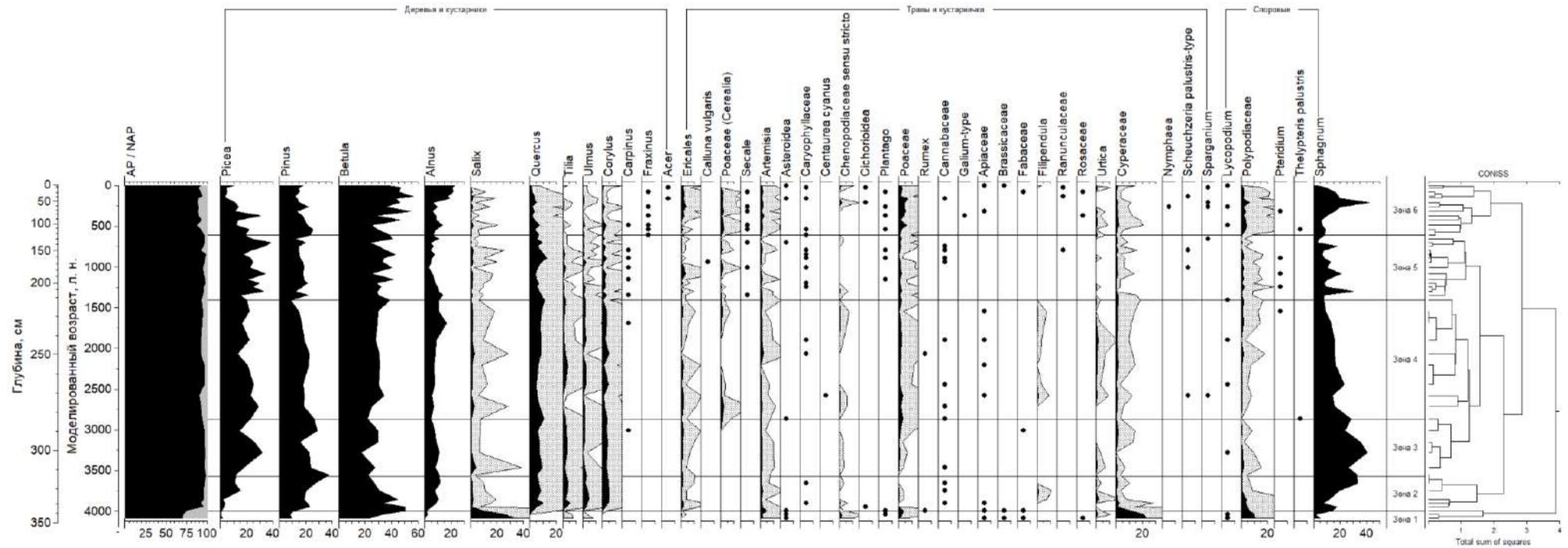
Полная спорово-пыльцевая диаграмма урочища Радомский Мох, разделённая на пыльцевые зоны, выделенные с помощью иерархического кластерного анализа (зависимого от стратиграфии отложений). Результаты кластерного анализа (CONISS) приведены в графическом виде справа от диаграммы.

Приложение 2.



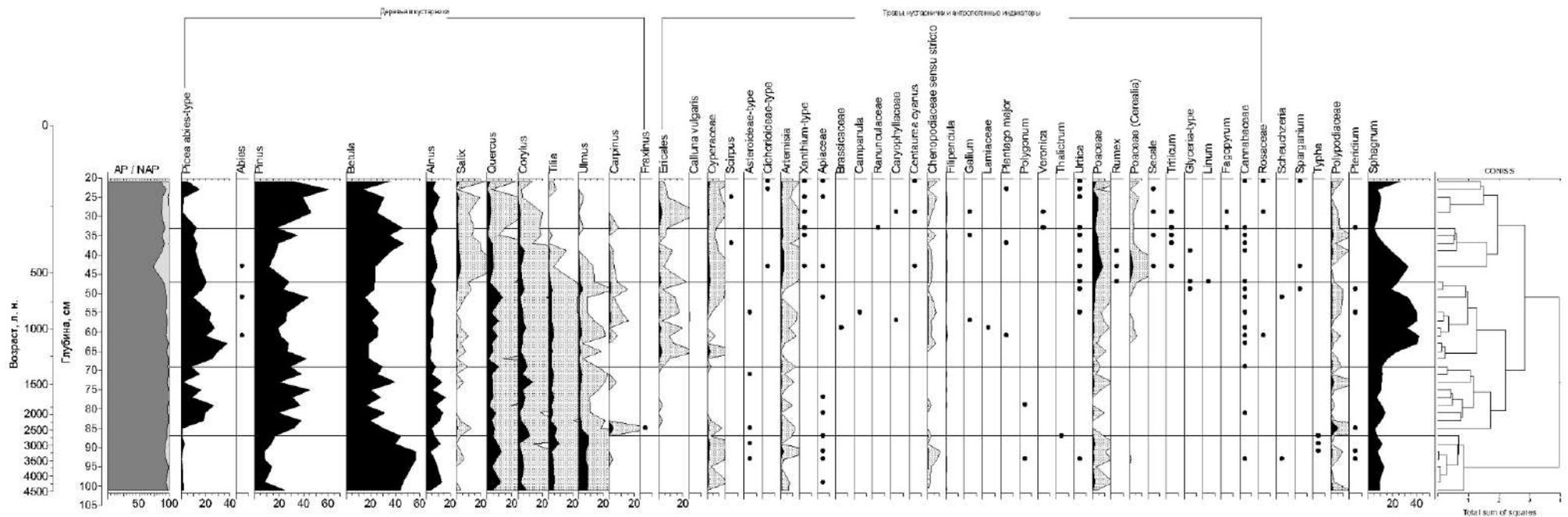
Полная спорово-пыльцевая диаграмма безымянного болота близ Акатовского озера, разделённая на пыльцевые зоны, выделенные с помощью иерархического кластерного анализа (зависимого от стратиграфии отложений). Результаты кластерного анализа (CONISS) приведены в графическом виде справа от диаграммы.

Приложение 3.



Полная спорово-пыльцевая диаграмма болота Мшары (урочище Аксёнинский Мох, исток Днепра), разделённая на пыльцевые зоны, выделенные с помощью иерархического кластерного анализа (зависимого от стратиграфии отложений). Результаты кластерного анализа (CONISS) приведены в графическом виде справа от диаграммы.

Приложение 4.



Полная спорово-пыльцевая диаграмма безымянного болота близ деревни Красный Холм (Вяземский район), разделённая на пыльцевые зоны, выделенные с помощью иерархического кластерного анализа (зависимого от стратиграфии отложений). Результаты кластерного анализа (CONISS) приведены в графическом виде справа от диаграммы

Приложение 5.

Радиоуглеродные даты для природных объектов Смоленщины (по материалам работ биологического факультета МГУ)

Лаб. номер	¹⁴ C дата	Калиброванный возраст	Палеоэкологический контекст, материал образца
<i>Болото рядом с д. Акатово</i>			
UOC-15213	1409±43	605 (68,63%) 657 AD	Центр болота, 295-300 см, торф с эоловым песком (признак выпаса); остатки насекомых
UOC-15217	1284±27	676 (29,6%) 707 AD 727 (38,7%) 771 AD	Центр болота, 225-230 см, начало кривых <i>Cerealia</i> и <i>Centaurea cyanus</i> (земледелие); торф
NA	3431±30	1867 (8,8%) 1851 BC 1770 (59,4%) 1687 BC	Окраина болота, 175-180 см, пик <i>Artemisia</i> (признак выпаса); сапрпель
<i>Аксёнинский мох (Исток Днепра)</i>			
UOC-14969	462±34	1425 (68,3%) 1453 AD	Центр болота, 120-125 см; резкий рост антропогенных индикаторов, начало стабильной кривой <i>Cerealia</i> (сведение леса, земледелие); торф
UOC-14970	1346±41	648(44,7%) 685 AD 744 (23,6%) 772 AD	Центр болота, 217-220 см, начало резкого сокращения доли широколиственных деревьев на фоне роста антропогенных индикаторов и <i>Cerealia</i> (сведение леса, земледелие); торф
UOC-14971	3632±31	2034 (68,3%) 1944 BC	Центр болота, граница сапрпели и торфа, 324-326 см; возможно заболачивание началось после череды пожаров (подсека?); торф с углем

Болото рядом с д. Красный Холм, Вязьма

UOC-15210	203±26	1658 (21,5%) 1680 AD 1740 (10,0%) 1753 AD 1763 (36,7%) 1800 AD	Центр болота, 44-46 см, начало кривой <i>Cerealia</i> (земледелие); торф
UOC-15211	1675±26	363 (68,3%) 418 AD	Центр болота, 78-80 см; резкое сокращение доли широколиственных деревьев и начало роста доли антропогенных индикаторов (сведение леса); торф
UOC-15212	4117±27	2851 (21,7%) 2810 BC 2747 ((,3%) 2727 BC 2697 (37,3%) 2623 BC	Центр болота, основание торфяной залежи, 100-108 см; торф с илом

Болото Радомский Мох (Гусино)

UOC-13723	2654±27	826 (68,3%) 797 BC	Центр болота, 130-132.5 см, пик пыльцы водных растений (резкое обводнение); торф с песком.
UOC-13724	2936±26	1211 (67,1%) 1110 BC 1063 (1.2%) 1060 BC	Центр болота, 162.5-165 см, угольная прослойка в торфе (серия пожаров-подсек?); древесный уголь
UOC-15216	588±27	1321 (52,7%) 1358 AD 1390 (1566%) 1403 AD	Центр болота, 50-52. 5 см, резкая олиготрофизация болота, восстановление леса; торф

Устье р. Катынки, пойма Днепра

MKL-3628	2890±80	1205 (65,9%) 980 BC 948 (2,3%) 938 BC	Бывшая старица, торф, 90-100 см; начало сокращения доли широколиственных деревьев (сведение леса); уголь
UOC-6364	3639±27	2035 (68,3%) 1951 BC	Бывшая старица, 125-130 см; сапрпель
UOC-6365	3866±28	2452 (14,6%) 2421 BC 2406 (16,3%) 2376 BC 2352 (37,3%) 2290 BC	Бывшая старица, 190-195 см; сапрпель
UOC-6366	4217±32	2893 (28,6%) 2866 BC 2803 (33,0%) 2766 BC 2717 (6,6%) 2706 BC	Бывшая старица, 240-245 см; единичные <i>Cerealia</i> ; сапрпель
