

УДК 551.89:574(-924.83)

ХРОНОЛОГИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ РЕГИОНЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ В МИКУЛИНСКОЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ[#]

© 2024 г. Ф. Е. Максимов^{1,*}, Л. А. Савельева¹, А. П. Фоменко^{1, 2},
С. С. Попова², И. С. Зюганова³, В. А. Григорьев¹, А. Ю. Петров¹,
С. Ф. Болтрамович¹, В. Ю. Кузнецов^{1, 4}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ Институт географии РАН, Москва, Россия

⁴ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия

* E-mail: maksimov-fedor@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.01.2023 г. После доработки 15.03.2023 г. Принята к публикации 13.10.2023 г.

Хронология микулинского межледникового и его отдельных фаз являются предметом дискуссии. Цель настоящего исследования состояла в установлении временных параметров основных этапов микулинского межледникового на Русской равнине по данным ²³⁰Th/U-датирования и палеоботанического изучения озерно-болотных отложений в известных разрезах Тверской области на реках Бол. Дубенка, Мал. Коша, Граничная и Сижина (“Килешино-2”). Применен усовершенствованный геохронологический подход, который позволил выявлять слои, пригодные для ²³⁰Th/U-изохронного приближения. В сочетании с палинологическим и карпологическим изучением это дало возможность датировать слои, соответствующие относительно узким временным интервалам развития растительных формаций на разных этапах последнего межледникового. Новые палеоботанические исследования погребенных озерно-болотных отложений из разрезов на реках Бол. Дубенка, Мал. Коша и Граничная позволили восстановить развитие растительности микулинского межледникового в интервале пылевых зон М1–М7, т.е. в большем объеме и детальнее, чем в 1960–1970 гг. По результатам ²³⁰Th/U-датирования и палеоботанического исследования отложений разрезов Тверской области в совокупности с ранее опубликованными данными по разрезу “Нижняя Боярщина” Смоленской области предложена хронологическая схема основных этапов развития растительности в микулинское межледниковье. Началось оно примерно 130–126 тыс. л. н. Его первая фаза, соответствующая зоне М2, закончилась ~118 тыс. л. н. Предоптимальные стадии развития растительности (зоны М3 и М4) укладываются во временной интервал ~118–112 тыс. л. н., а климатический оптимум межледникового (зоны М5 и М6) — от ~112 тыс. л. н. и до ~100 тыс. л. н. Таким образом, продолжительность микулинского межледникового, вероятно, составляла не менее 25 тыс. л.

Ключевые слова: континентальные органогенные отложения, геохронология, МИС 5, ²³⁰Th/U-метод датирования, изохронное приближение, реконструкция растительности, палинологический и карпологический анализы

DOI: 10.31857/S2949178924010098, EDN: IITVAG

ВВЕДЕНИЕ

Последнее межледниковье на Русской равнине является объектом пристального внимания в течение многих десятилетий и ему посвящено

огромное количество научных изысканий. Тем не менее, вопросов, на которые не получены исчерпывающие ответы, остается немало. Так, например, до сих пор временные параметры этого периода являются предметом дискуссии. Наиболее распространенная точка зрения основывается на корреляции микулинского (эемского) межледникового с морской изотопно-кислородной подстадией МИС 5е (Новенко, 2016). Однако есть исследования, в которых делается заключение о большей

[#] Ссылка для цитирования: Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Фоменко А.П. др. (2024). Хронология и основные этапы развития растительности в центральном регионе Восточно-Европейской равнины в микулинское межледниковье. *Геохронология и палеогеография*. Т. 55. № 1. С. 147–174. <https://doi.org/10.31857/S2949178924010098>; <https://elibrary.ru/IITVAG>

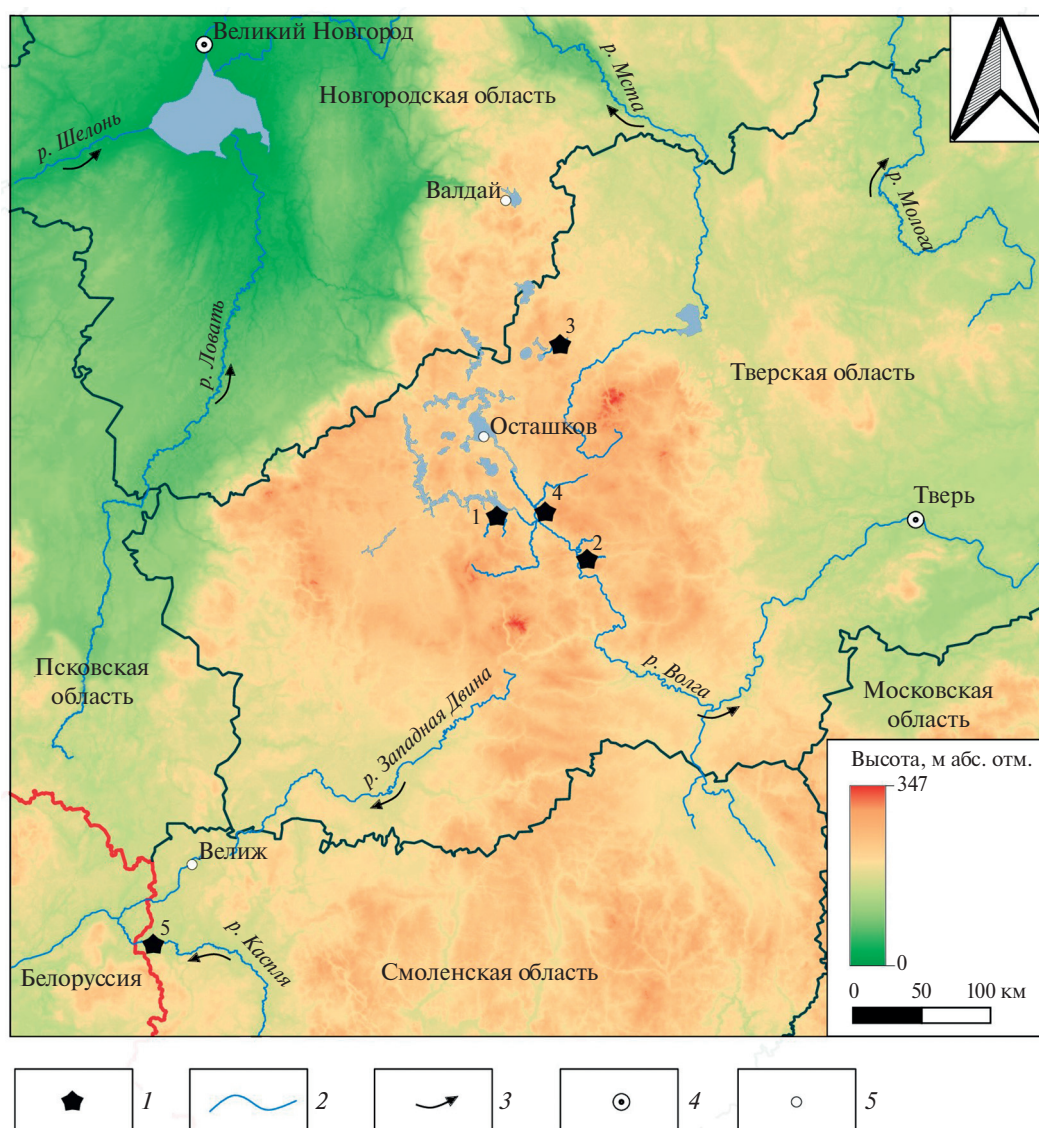


Рис. 1. Расположение изученных разрезов.

1 — разрез (1 — “Большая Дубенка”, 2 — “Малая Коша”, 3 — “Граничная”, 4 — “Килешино-2”, 5 — “Нижняя Боярщина”); 2 — гидросеть; 3 — направление течения реки; 4 — административный центр; 5 — населенный пункт.

Fig. 1. Location of the studied sections.

1 — section (1 — “Bolshaya Dubenka”, 2 — “Malaya Kosha”, 3 — “Granichnaya”, 4 — “Kileshino-2”, 5 — “Nizhnaya Boyarshchina”); 2 — hydrological network; 3 — direction of the river flow; 4 — administrative center; 5 — settlement.

продолжительности этого периода, вплоть до охвата всей стадии МИС 5 (Молодьков, Болиховская, 2011; Болиховская, Молодьков, 2020).

Чаще всего в палеогеографических реконструкциях временные границы микулинского межледникового устанавливаются по косвенным данным, т.е. с учетом корреляции с изотопно-кислородными кривыми. Определение количественного возраста микулинских отложений используется по большей части для сопоставления датировок с подстадией МИС 5e. Отклонения от МИС 5e рассматриваются

как результат ошибок используемых методов датирования. Оценка хронологии микулинского горизонта непосредственно на основе датировок его отложений используется весьма редко (Molodkov, Bolikhovskaya, 2009; Максимов, Кузнецов, 2010; Максимов и др., 2022).

Следует отметить, что возможность прямого установления хронологии микулинского межледникового возникает в том случае, если отложения, в которых четко идентифицированы его

основные фазы, могут быть датированы. Такие обстоятельства сочетаются для погребенных органогенных отложений. Микулинское межледниковье хорошо распознается по озерно-болотным и старичным осадкам. Как раз именно в них выделена последовательность пыльцевых зон М1–М8, позволяющая проследить характерную смену растительности на Русской равнине, присущую только для последнего межледниковья (Гричук, 1961). С другой стороны, возраст этих отложений может быть определен $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -методом. Соответственно, подход на основе палеоботанического изучения и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования подобных осадков вполне может быть использован для построения хронологической схемы микулинского межледниковья.

В ряде разрезов на Русской равнине нами были датированы микулинские органогенные отложения с целью установления их хроностратиграфического положения (Максимов, Кузнецов, 2010; Rusakov et al., 2015, 2019). $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -данные, как правило, отражали возраст органогенной толщи в целом, т.е. нескольких пыльцевых зон и не могли быть использованы для детальной хронологии. В дальнейшем нами была поставлена задача выделения отдельных фаз развития растительности и их $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования с целью детализации хронологии микулинского межледниковья на Русской равнине. С этих позиций в настоящей работе рассматриваются новые результаты палеоботанического и геохронометрического изучения нескольких ранее известных разрезов Тверской области (рис. 1) в совокупности с опубликованными данными по разрезу “Нижняя Боярщина” (Максимов и др., 2022). Кроме того, обращается внимание на характерные особенности микулинских растительных комплексов, выявленных для этих разрезов.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разрез “Большая Дубенка”. Обнажения на правом берегу р. Бол. Дубенка близ д. Сосноватка (Тверская обл.), вскрывающие коренной склон речной долины высотой от 5 до 10 м над урезом воды на отрезке протяженностью более 350 м, изучались в 60–70 гг. прошлого века (Чеботарева и др., 1961; Ананова и др., 1973). В озерно-болотных отложениях средней мощностью около 2 м, залегающих на поверхности московской морены и перекрытых валдайскими моренными образованиями и наносами голоценового возраста, выделены

зоны микулинского межледниковья: сначала М4–М7, позже М3–М7.

В ходе полевых работ в сентябре 2020 г. на правом берегу р. Бол. Дубенка (координаты $56^{\circ}52.511'$ с.ш., $33^{\circ}11.289'$ в.д., абс. высота 206 м) в нижней части коренного склона речной долины были вскрыты органоминеральные отложения мощностью несколько больше 1 м. Сверху вниз зафиксированы следующие слои (рис. 2):

0–14 см — песчанистый диамиктон красно-бурый, с гравием, галькой и валунами;

14–36 см — алевриты, 14–30 см — серые, 30–36 см — темно-коричневые с пятнами ожелезнения;

36–96 см — песчанистая гиттия сине-коричневая, с растительными остатками, до 76 см — плотная гиттия;

96–104 см — торф черный, влажный, с большим количеством неразложившихся органических остатков;

104–116 см — переходный слой между диамиктоном и торфом;

116–126 см — глинистый диамиктон серо-голубой, с карбонатными включениями и с гравием, плотный, текстура — массивная.

Основание вскрытых отложений находилось на 33 см выше уреза воды, тогда как их верх (“0 см”) примерно на 5 м ниже бровки.

Строение разреза в целом близко к тому, что наблюдалось 50–60 л. н. (Чеботарева и др., 1961; Ананова и др., 1973). Озерно-болотная толща заключена между моренными отложениями, как и было ранее установлено.

Разрез “Малая Коша”. Обнажение на правом коренном берегу р. Мал. Коша, примерно в 1–1.5 км на ЮЗ от д. Лошаково (Тверская обл.) известно давно и вызывало повышенный интерес у исследователей (Чеботарева и др., 1961, 1979; Краснов, Колесникова, 1967; Ананова и др., 1973; Семененко, Козлов, 1974). Толща микулинских озерно-болотных отложений обнажается на протяжении около 80 м в верхней части коренного склона речной долины, имеющего высоту в 15–17 м над урезом воды. Толща мощностью от 3 до 5 м залегает на поверхности озерно-ледниковых глин московского возраста и перекрыта “перигляциальной формацией в составе водно-ледниковых, делювиально-солюфликационных и покровно-ледниковых осадков, образовавшихся в период валдайского оледенения” средней мощностью 4.0–4.5 м (Семененко, Козлов, 1974).

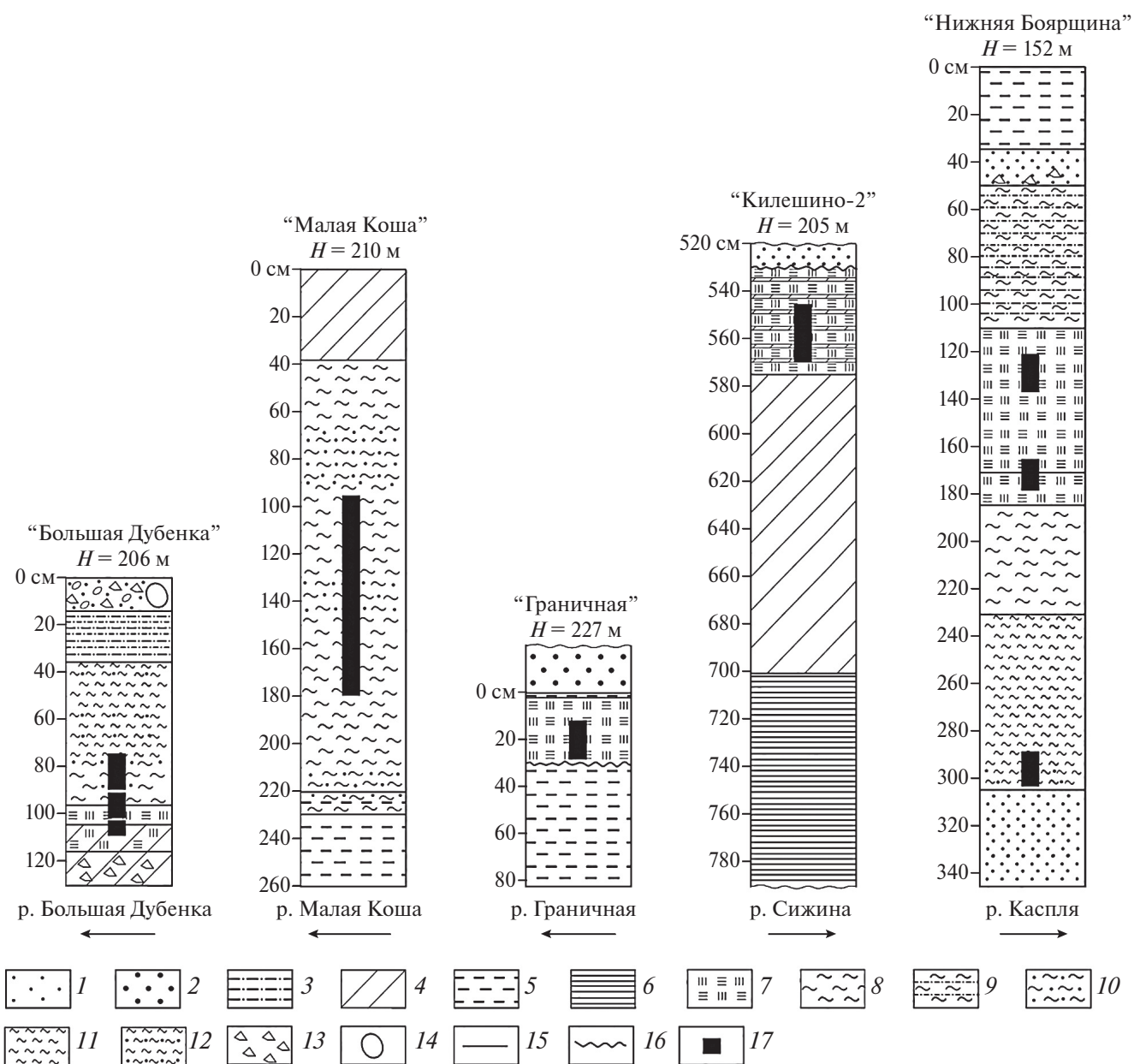


Рис. 2. Литологические колонки разрезов “Большая Дубенка”, “Малая Коша” и “Граничная”, “Килешино-2” (Карпукхина и др., 2020) и “Нижняя Боярщина” (Максимов и др., 2022).

1 — песок мелкозернистый; 2 — песок крупнозернистый; 3 — алевриты; 4 — суглинок; 5 — глина; 6 — ритмично-слоистый тяжелый суглинок; 7 — торф; 8 — гиттия; 9 — алевритистая гиттия; 10 — песчанистая гиттия; 11 — плотная гиттия; 12 — плотная песчанистая гиттия; 13 — гравий; 14 — валун; 15 — границы между слоями; 16 — стратиграфическое несогласие; 17 — $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст.

Fig. 2. Lithological cores of the “Bolshaya Dubenka”, “Malaya Kosha”, “Granichnaya”, “Kileshino-2” (Karpukhina et al., 2020) and “Nizhnaya Boyarshchina” (Maksimov et al., 2022) sections.

1 — fine-grained sand; 2 — coarse sand; 3 — silts; 4 — loam; 5 — clay; 6 — rhythmically layered heavy loam; 7 — peat; 8 — gyttia; 9 — silty gyttia; 10 — sandy gyttia; 11 — dense gyttia; 12 — dense sandy gyttia; 13 — gravel; 14 — boulder; 15 — boundaries between layers; 16 — stratigraphic unconformity; 17 — $^{230}\text{Th}/\text{U}$ age.

В сентябре 2021 г. на правом берегу р. Мал. Коша нами была сделана расчистка обнажения (координаты 56°43.460' с.ш., 33°44.484' в.д., абс. высота 210 м) в верхней, обнаженной, части коренного склона. Расчистка начиналась примерно в 4.6 м ниже бровки склона.

Сверху вниз вскрыты следующие слои (рис. 2): 0–38 см — суглинок, 0–28 см — светло-серый, опесчаненный, 28–38 см — серый;

38–70 см — гиттия серая с торфянистыми неровными прослоями, кверху цвет становится темнее;

70–146 см — гиттия темно-серая, 70–90 см — опесчаненная, 90–134 см — насыщенная органикой, 134–146 см — опесчаненная;

146–220 см — гиттия темно-синяя, на глубине 192–196 см наблюдаются песчаные линзы, 212–220 см — опесчаненная;

220–230 см — переходный слой между серо-голубыми глинами и опесчаненной гиттией;

230–260 см — серо-голубые глины с песчаной линзой (248–252 см).

На глубине 185–190 см находится кровля водоносного горизонта, ниже которого все обводнено. Выше 0 см отмечены коричневые глины, контакт с суглинками четкий.

Общая высота верхней, обнаженной, части коренного склона правого берега реки составляет примерно 7–8 м. Нижняя часть склона покрыта оползнями. От низа вскрытых отложений до уреза воды примерно 8–9 м. Практически так же правый берег описан в статье Е.Н. Анановой с соавторами (Ананова и др., 1973).

Строение разреза несколько отличается от ранее опубликованных данных (Чеботарева и др., 1961; Краснов, Колесникова, 1967; Ананова и др., 1973; Семененко, Козлов, 1974). Это может быть связано с обновлением разреза за последние 50–60 лет. Также есть расхождения и с недавно проведенным опробованием (Каревская и др., 2017). Вероятно, причина этих расхождений состоит в том, что расчистки вскрывают разные части линзы озерно-болотных отложений, основным слоем которой во всех случаях, в том числе и в нашем, являются гиттии.

Разрез “Граничная”. Местонахождение микулинских осадков на р. Граничной близ д. Новое Козьяново (Тверская обл.) относится к краевой зоне валдайского оледенения (Котлукова, 1972). Они перекрываются маломощной валдайской мореной и подстилаются отложениями каспийско-

го межстадиала московского оледенения, и еще ниже — московской мореной.

В сентябре 2021 г. на правом подмываемом берегу в излучине р. Граничной в коренном склоне речной долины нами сделан шурф (координаты 57°28.699' с.ш., 33°35.359' в.д., абс. высота 227 м). Отмечена следующая последовательность слоев сверху вниз (рис. 2):

0–2 см — коричневый крупнозернистый песок с коричнево-серым глинистым прослоем (сильно обводненный слой песка вскрыт выше “0” на 20–30 см);

2–30 см — темно-коричневый торф, плотный, с обломками древесины, мощность не выдержана по простиранию (мощность 28–32 см), обводнен;

30–80 см — серо-голубые глины.

Следует отметить, что между 2 и 3 слоем граница резкая и неровная. Это может свидетельствовать о перерыве в осадконакоплении. Высота по вертикальному профилю вскрытых отложений от их нижней точки (80 см) до уреза воды составляет примерно 70 см, а от их верхней точки (0 см) до бровки берега (поверхности первой надпойменной террасы) — 200–250 см. Таким образом, высота берега ~4 м соответствует приведенной в описании И.В. Котлуковой (Котлукова, 1972). При этом строение разреза несколько отличается. У нас слой торфа (слой 2) заключен между песками сверху и глиной снизу, тогда как в 1972 г. все наоборот — сверху глина, а снизу песок. Очевидно, что за 50 лет ситуация изменилась, размывом берегов вскрыта сильная изменчивость четвертичного разреза в данном месте.

На каждом из приведенных разрезов из органических и вмещающих их отложений были отобраны образцы с разрешением 1–4 см для палеоботанического изучения, определения потерь при прокаливании (ППП) и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования.

Кроме того, рассматривался известный разрез у восточной окраины д. Килешино (“Килешино-2”), приуроченный к левому, подмываемому, склону долины р. Сижина в Тверской области (Чеботарева и др., 1961; Гитерман и др., 1975). Стратиграфическое положение нижнего органического слоя было неясным, его относили и к микулинскому времени (Гитерман и др., 1975), и к средневалдайскому интерстадиалу (Lasberg et al., 2014). Причем согласно последней публикации, количественный возраст отложений разреза Килешино-2 не превышал 72 тыс. л. (Lasberg et al., 2014).

В 2018 г. сотрудниками ИГРАН была сделана расчистка обнажения “Килешино-2” (N 56.88044°; E 33.45830°, 210 м) на левом берегу р. Сижины в вершине излучины и отобраны образцы на палеоботаническое изучение и радиоуглеродное датирование (Карпухина и др., 2020). В том же 2018 г. (на две недели позже коллег из ИГ РАН) на этой же расчистке нами были отобраны образцы с разрешением 2–5 см из нижнего органогенного слоя для $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Уран-ториевый метод. Для установления временных интервалов отдельных этапов микунского межледниковья нами использовался $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метод, позволяющий датировать органогенные отложения с возрастом ~10–350 тыс. л. (Geyh, Müller, 2005; Максимов, Андреичева и др., 2021). Эти формации включают в свой состав органическую и минеральную компоненты, поэтому для определения их $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраста необходимо вводить коррекцию на первичное (включенное в отложения на момент их формирования) изотопное загрязнение. Для этого используется изохронное приближение, которое основывается на количественном определении изотопов U и Th в серии одновозрастных образцов (Geyh, 2001; Максимов, Кузнецов, 2010; Кузнецов, Максимов, 2012). Условия его применения детально охарактеризованы (Максимов и др., 2022). Кратко их можно сформулировать следующим образом. Органическая компонента в момент образования отложений аккумулирует водородный уран, из которого со временем образуется ^{230}Th . Эта фракция является датированной. Значения отношений активностей в минеральной (детритной) фракции — $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — не меняются от образца к образцу, т.е. в них проявляется один источник первичного ториевого загрязнения. И, наконец, отложения в целом должны быть отнесены к закрытой радиометрической системе относительно изотопов U и Th в течение постседиментационного времени.

Соответственно, в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ и $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ — $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ для серии одновозрастных образцов могут быть построены линейные зависимости и определены значения отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в датированной органической фракции, которые используются в вычислениях изохронного возраста

по уравнению Кауфмана и Брокера (Kaufman, Broecker, 1965).

Определение удельных активностей изотопов U и Th в образцах, отобранных по вертикальному профилю отложений, проводилось с учетом их полного растворения (TSD-модель) на основе радиохимической методики (Максимов, Кузнецов, 2010). Параллельно рассчитывались потери образцов при прокаливании (ППП). Выбор одновозрастных образцов, пригодных для изохронного датирования, осуществлялся с учетом нескольких условий.

Во-первых, тестировалась принадлежность образцов к закрытой радиометрической системе. На предварительном этапе мы находили величину отношения активностей $^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ в образцах. Если его значение отклонялось от единицы более чем на $\pm 1\sigma$ (σ — ошибка измерения), то это свидетельствовало о нарушении радиоактивного равновесия в цепочке трех генетически связанных изотопов $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{228}\text{Ra} \rightarrow ^{228}\text{Th}$ в какой-то момент времени на протяжении последних 25–30 лет. Если данный факт связан только с миграцией ^{228}Ra , то условие закрытости системы относительно изотопов U и Th соблюдается. Однако не исключено, что могла иметь место миграция изотопов тория ^{228}Th , ^{232}Th и, в том числе, ^{230}Th , и тогда важнейшая предпосылка метода оказывается нарушена. Чтобы не вносить эту неопределенность, образцы с существенным отклонением значения отношения активностей $^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ от единицы (более чем на $\pm 1\sigma$) в дальнейшем не рассматривались.

Потом анализировали распределение отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и содержания U в образцах по вертикальному профилю органогенной толщи отложений. Существенные флуктуации этих величин в отдельных образцах также могли указывать на нарушения условий закрытой системы, по большей мере, связанные с миграцией водорастворимых форм U в постседиментационное время. Соответственно, образцы, отнесенные к открытым системам, исключались из одновозрастных серий.

При изохронных построениях точки, соответствующие образцам — открытым системам, чаще всего отчетливо отклоняются от линейных зависимостей. Но в некоторых случаях это проявляется не столь явно. Кроме того, если в образцах есть несколько источников ториевого загрязнения, это может давать лишь небольшое отклонение от линейных зависимостей. Поэтому дополнительно мы использовали координаты $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ — $^{232}\text{Th}/^{234}\text{U}$

и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} - ^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, в которых несоответствие точек линейной регрессии проявляется более явно (Geyh, 2008; Максимов и др., 2022).

Надежность изохронных построений в той или иной степени зависит от размаха расположения точек вдоль линейных зависимостей. Поэтому, по возможности, для датирования выбирались участки вертикального профиля отложений с существенными вариациями значений отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$.

Для корректного применения изохронного приближения следует брать в расчет образцы разновозрастные или с очень близким возрастом. Поэтому использовались участки вертикального профиля, сформированные в достаточно узких временных интервалах, например, в пределах одной или на крайний случай нескольких пыльцевых зон.

Расчет изохронного возраста производился по аналитическим данным серии разновозрастных образцов с применением линейной и нелинейной методик (Максимов и др., 2022). В этом случае надежность датирования была выше, чем при использовании только одной из них. В качестве окончательной оценки $^{230}\text{Th}/\text{U}$ изохронного возраста мы рассматривали временной отрезок перекрытия между собой доверительных интервалов, полученных по линейной и нелинейной методике.

Спорово-пыльцевой анализ. Для проведения спорово-пыльцевого анализа (СПА) с интервалом 2–8 см из разреза на р. Б. Дубенка было отобрано 28 образцов, на р. М. Коша — 44 образца и на р. Граничная — 19 образцов. Экстракция микрофоссилий из отложений выполнена из проб массой 1–2 гр. по стандартной методике (Гричук, Заклинская, 1948; Moore et al., 1991) и включала обработку 10% растворами HCl и NaOH , затем использование тяжелой жидкости ($\text{KI} + \text{CdI}_2$) с удельным весом 2.29 г/см³ для минеральных отложений и ультразвуковую очистку проб методом просеивания через сито с диаметром ячеек 7 мкм (Swynar et al., 1979) на заключительном этапе анализа. При определении таксономической принадлежности пыльцы использовались атласы-определители (Куприянова, Алешина, 1972, 1978; Бобров и др., 1983; Moore et al., 1991; Савельева и др., 2013), а также коллекция постоянных препаратов современной пыльцы СПбГУ. На спорово-пыльцевых диаграммах (СПД), построенных с помощью пакета программ Tilia/TiliaGraph/TGView (Grimm, 2004) показаны только основные таксоны. Процентное содержание каждого пыльцевого

и спорового таксона рассчитано от суммы пыльцы наземных растений за исключением водных. Количество переотложенной дочетвертичной пыльцы и спор подсчитано от общей суммы четвертичных микрофоссилий в образце. Границы палинозон проведены с использованием кластерного анализа программы CONISS (Grimm, 1987).

Палеокарпологический анализ. В разрезе на р. М. Коша были отобраны образцы на карпологический анализ объемом 500–600 см³ из прослоев, содержащих растительные остатки (торф, оторфованные суглинки). Из разреза на р. Бол. Дубенка была проанализирована серия образцов небольшого объема, отобранных на спорово-пыльцевой анализ.

Выделение остатков проводилось по стандартной методике (Никитин, 1969). Образцы вымачивали и проваривали в водном растворе кальцинированной соды, затем промывали через лабораторные сита с диаметром ячеек 0.25 мм. После высушивания, детрит просматривали с целью отбора семян и плодов при помощи стереомикроскопа Zeiss Stemi 2000. Для идентификации данных макроостатков были использованы атласы субфоссильных семян и плодов (Домбровская и др., 1959; Кац и др., 1965; Velichkevich, Zastawniak, 2006, 2008), современные коллекции семян БИН им. Комарова РАН также привлекались для сравнения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные данные представлены отдельно для каждого разреза в последовательности: палеоботаническое описание растительных зон, выделение фаз микулинского межледниковья и их $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирование.

Разрез “Большая Дубенка”. Спорово-пыльцевой анализ. На СПД выделено 9 палинозон (рис. 3).

Палинозона 1 (126–116 см). Среди пыльцы древесных преобладает *Pinus* (27%) и *Betula* sect. *Albae* (14%), отмечена пыльца *Betula nana* (9%). Содержание пыльцы *Alnus* и *Corylus* составляет 11% и 6% соответственно. Количество пыльцы трав составляет около 30%. Среди споровых растений доминируют споры Polypodiaceae. Содержание дочетвертичных спор и пыльцы достигает 80%.

Палинозона 2 (116–110.5 см). Господствует пыльца *Pinus* (47%). Увеличивается количество пыльцы *Picea* (максимум 13%). Растет число спор Polypodiaceae (до 70%). Количество дочетвертичных спор и пыльцы снижается до 34%.

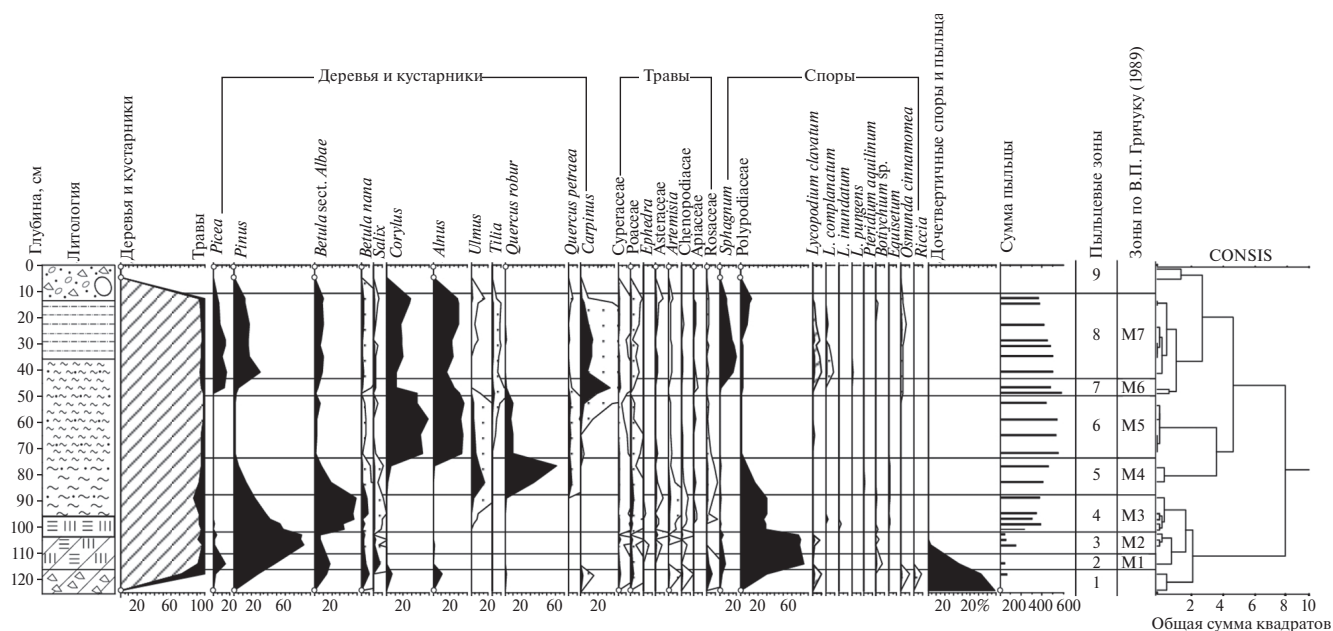


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений разреза “Большая Дубенка”.

Fig. 3. Spore-pollen diagram of the “Bolshaya Dubenka” section.

Палинозона 3 (110.5–102 см). Из спектров постепенно выпадает пыльца *Picea*. Травянистые растения представлены пыльцой семейств Сурегасеae, Роасеae, Chenopodiaceae, а также родов *Ephedra* и *Artemisia*. Существенно снижается содержание дочетвертичных спор и пыльцы (до 5%).

Палинозона 4 (102–88 см). Преобладает пыльца *Betula* sect. *Albae* (33–48%). Впервые зафиксирована пыльца широколиственных пород, таких как *Ulmus* и *Quercus robur*. Количество спор Polypodiaceae снижается до 27%.

Палинозона 5 (88–74 см). Отличительной особенностью зоны является высокое содержание пыльцы *Quercus robur* (34–61%) и *Ulmus* (максимум 16%). Содержание пыльцы *Quercus petraea* составляет 2–5%. Содержание спор Polypodiaceae сокращается до 7%.

Палинозона 6 (74–50 см). Доминирует пыльца *Alnus* (максимум 37%) и *Corylus* (максимум 49%). Содержание пыльцы *Quercus robur* снижается до 10%. Отмечена пыльца *Carpinus* (до 4%). Зафиксированы пыльцевые зерна *Tilia*.

Палинозона 7 (50–43 см). Максимальных значений достигает пыльца *Carpinus* (34%), а также *Tilia* (2%). В незначительных количествах представлена пыльца *Quercus robur* и *Quercus petraea*. Впервые встречены споры *Osmunda cinnamomea*.

Палинозона 8 (43–9 см). Зафиксирован максимум пыльцы *Picea* (до 16%). Среди термофильных пород деревьев и кустарников доминирует пыльца

Corylus (до 29%) и *Carpinus* (до 14%). Возрастает доля спор *Sphagnum* (8–19%) и Polypodiaceae (до 13%). Отмечены споры *Osmunda cinnamomea*.

Палинозона 9 (9–0 см). Пыльца представлена единичными зернами *Picea*, *Pinus*, *Betula* sect. *Albae*, *Betula nana*, *Alnus*, *Quercus robur*.

Сопоставление полученных данных с результатами предыдущих исследований отложений на р. Большая Дубенка (Чеботарева и др., 1961; Ананова и др., 1973) выявило сходство полученных спорово-пыльцевых спектров с этапами развития растительности микулинского межледниковья (зоны M1–M7).

На поверхности ледниковой аккумуляции (зона M1) распространялась пионерная растительность, возможно, присутствовала ель. В начальный этап микулинского межледниковья (зона M2) роль таежных лесов была незначительной. В составе лесов принимала участие ель. Обильно были распространены папоротники и разнотравье. Затем (зона M3) на территорию начали проникать широколиственные породы. Возросла роль березово-сосновых лесов. В травянистом покрове наблюдалось обилие и разнообразие видов. Началось озерное осадконакопление. Во время, отвечающее зоне M4, распространение получили леса, основными доминантами в которых являлись дуб и вяз. В оптимум микулинского межледниковья последовательно развивались широколиственные леса, в основном, представленные липой (зона

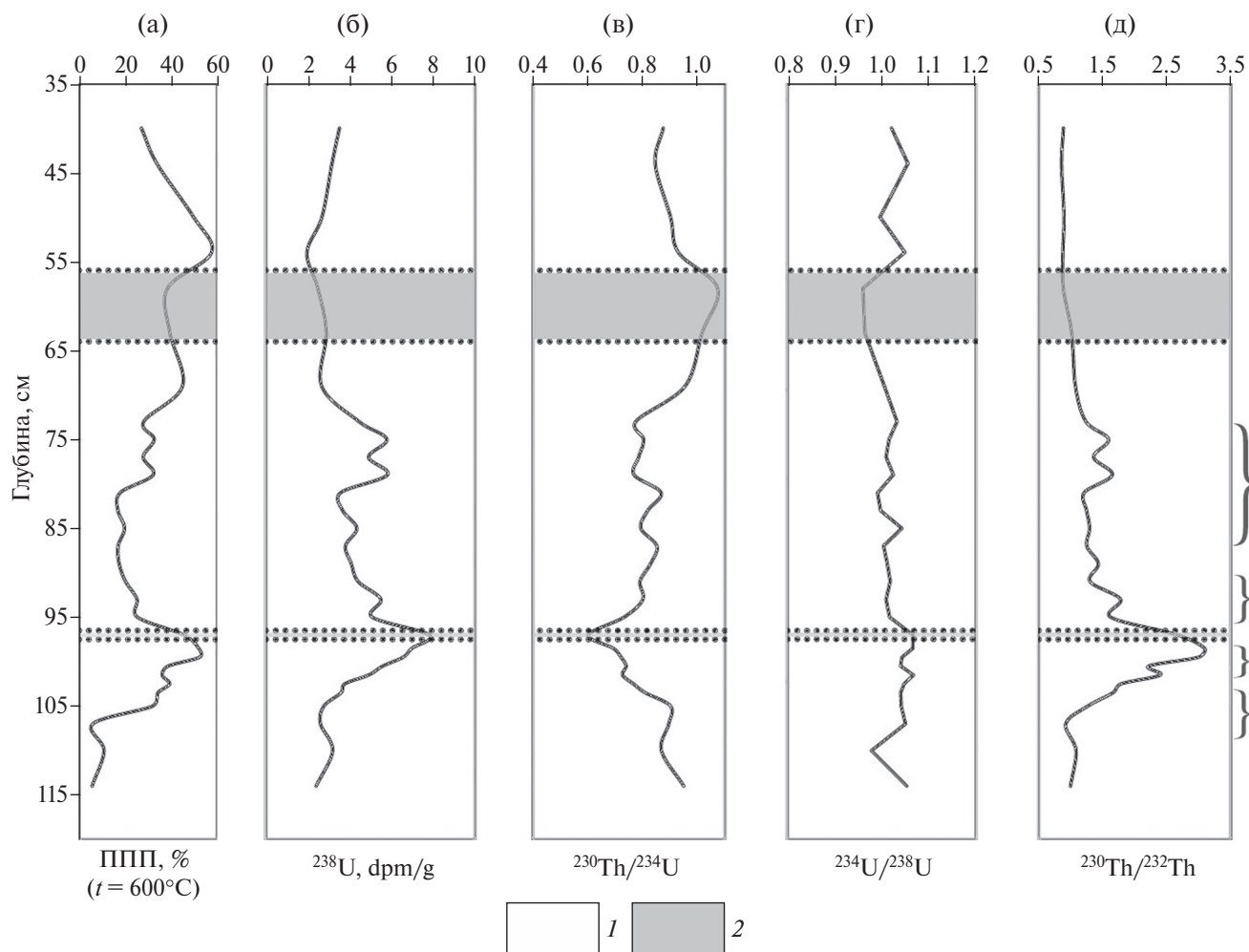


Рис. 4. Распределение органического вещества (ППП — потери при прокаливании), U и отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ по вертикальному профилю озерно-болотной толщи разреза “Большая Дубенка”. Фигурными скобками показаны участки, выбранные для $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -изохронного датирования.

1 — закрытая радиометрическая система; 2 — геохимический барьер (открытая радиометрическая система).

Fig. 4. Distribution of organic matter (LOI, loss on ignition), U, and ratios of $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, and $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ activities along the vertical profile of the lacustrine-bog sequence of the “Bolshaya Dubenka” section. The curly brackets show the sites selected for $^{230}\text{Th}/\text{U}$ isochron dating.

1 — closed radiometric system; 2 — geochemical barrier (open radiometric system).

М5) и грабом (зона М6). В подлеске произрастала лещина. Ближе к концу оптимума появились теплолюбивые папоротники, например, осмунда. В дальнейшем (зона М7) возросла доля влаголюбивой ели. Были также распространены березово-сосновые леса.

Палеокарпологический анализ. Карпологические остатки обнаружены в интервале 86–108 см. В образцах из верхней части слоя алевроита (глубина 104–108 см) были определены лишь единичные плоды и семена болотных растений (*Carex* sp., *Comarum palustre*). В слое торфа (глубина 96–104 см) найдены остатки древесных

растений: многочисленные орешки и плодовые чешуи березы (*Betula* sect. *Albae*) и единичные орешки ольхи (*Alnus* cf. *glutinosa*), а также семена ели *Picea* sp. Кроме того, определены остатки умеренно-термофильных водных растений — семена *Stratiotes aloides* и *Lemna trisulca*, плоды *Ceratophyllum demersum*. Болотные и прибрежно-водные растения представлены остатками *Comarum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, *Carex* sp., *Scirpus* sp. Также отмечены единичные остатки луговых растений — *Stachys annua*, *Fragaria vesca*, *Potentilla reptans*. В образцах из нижней части слоя песчанистой гиттии (глубина 86–96 см)

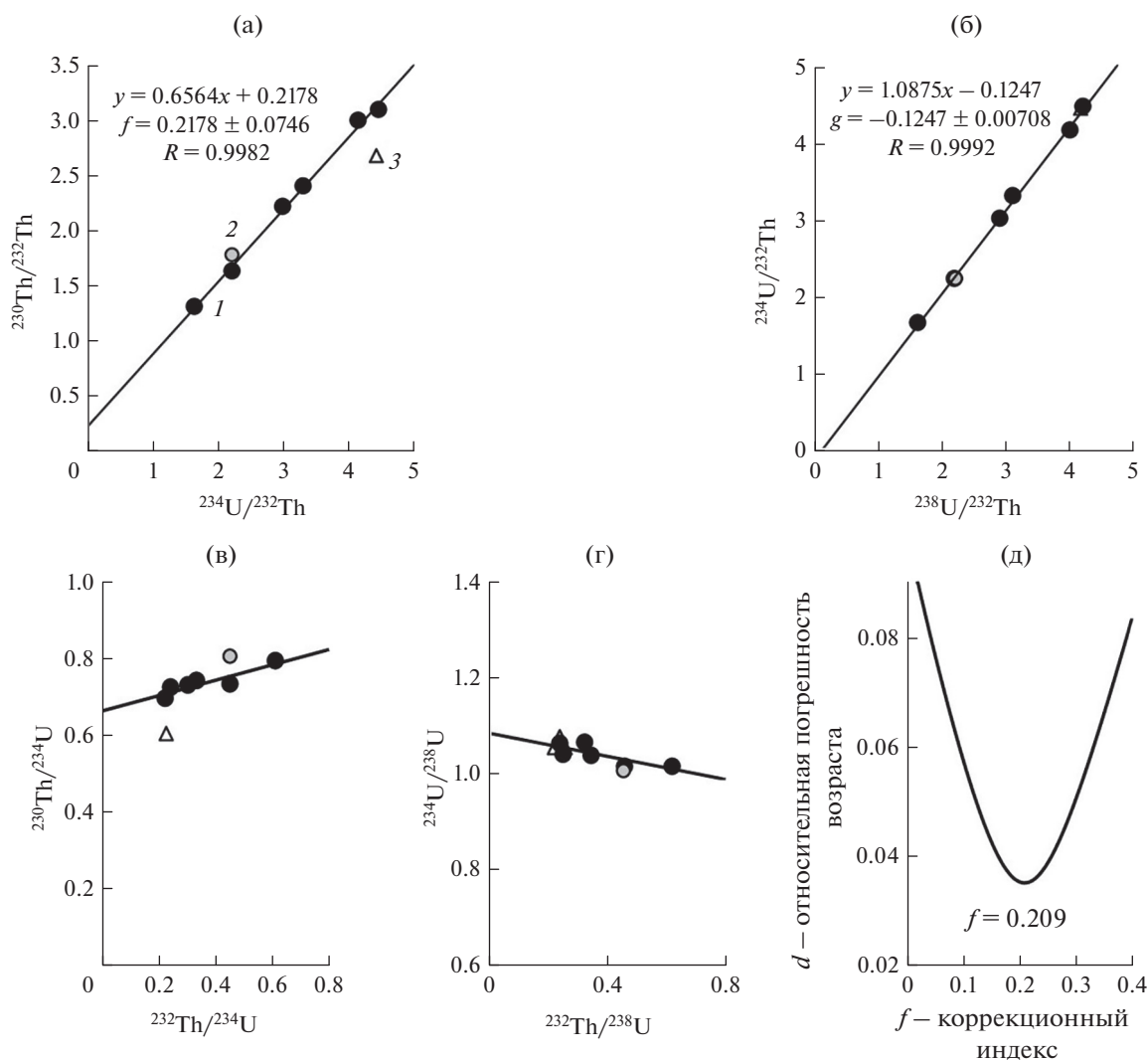


Рис. 5. Графическое представление об определении изохронного возраста согласно двум методикам расчета для органогенных отложений разреза “Большая Дубенка”.

(а, б, в, г) — Линейные зависимости, построенные для 6 образцов торфа с глубины 90–102 см; f , g — значения коррекционных индексов, с помощью которых рассчитывается изохронный возраст 6 образцов с глубины 90–102 см по линейной методике. Образцы: 1 — по которым построены линейные зависимости, 2 — с глубины 92–94 см, отклоняющийся от линейности, 3 — с глубины 96–98 см, отнесенный к открытой радиометрической системе.

(д) — Нахождение значения f необходимого для расчета изохронного возраста 6 образцов с глубины 90–102 см по нелинейной методике.

Fig. 5. Graphical representation of isochron age determination according to two calculation methods for organic-rich deposits from the “Bolshaya Dubenka” section.

(а, б, в, г) — linear dependences plotted for 6 peat samples from a depth of 90–102 cm; f , g — values of correction indexes, which are used to calculate the isochron age of 6 samples from a depth of 90–102 cm using a linear method. Samples: 1 — samples on which linear dependencies are built, 2 — sample from a depth of 92–94 cm deviating from linearity, 3 — sample from a depth of 96–98 cm assigned to an open radiometric system.

(д) — finding the f value required to calculate the isochron age of 6 samples from a depth of 90–102 cm using a non-linear approach.

обнаружены единичные орешки березы, плоды *Ceratophyllum demersum* и некоторых болотных растений.

Сопоставление палеокарпологических и палинологических данных (рис. 3) показало, что локальные карпологические комплексы (ЛКК)

разреза “Большая Дубенка” относится к верхней части пылевой зоны М2, зоне М3 и началу зоны М4, т.е. к начальному этапу микулинского межледниковья. Подобные ЛКК известны из других разрезов верхнего плейстоцена на территории Тверской области, как из отложений начальных

или завершающих фаз микулинского межледникового, так и из нижневалдайских интерстадиальных отложений (Величкевич, 1985; Zyuganova, 2009).

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирование. Выполнено определение изотопов U и Th в образцах гиттии и торфа по вертикальному профилю в интервале глубин 38–116 см. Значения отношения активностей $^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ в образцах не отклонялись от единицы более чем на $\pm 1\sigma$ (σ — ошибка измерения), т.е. радиоактивное равновесие между этими изотопами соблюдалось во время последних 25–30 лет. Из графика распределения $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и содержания U по вертикальному профилю органической толщи отложений выявлены геохимические барьеры — открытые в постседиментационное время радиометрические системы (рис. 4).

Верхний барьер (56–64 см), скорее всего, связан с постседиментационным преимущественным выщелачиванием ^{234}U при контакте отложений с окружающими водами согласно эффекту Чердынцева–Чалова (Чердынцев, Чалов, 1977). На это указывают значения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, которые ниже равновесной величины, равной единице, а также значения отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ в этих же образцах, которые ≥ 1 .

Нижний барьер весьма узкий, для одного образца с глубины 96–98 см отмечено существенно пониженное значение отношений активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ и одновременно несколько повышенное содержание урана. Здесь наоборот происходила постседиментационная аккумуляция отложениями водорастворимых форм U из окружающих вод.

Отложения вне этих барьеров предположительно могли относиться к закрытым в постседиментационное время радиометрическим системам.

С учетом вышеизложенного мы применили изохронное приближение $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -метода для аналитических данных трех наборов образцов в интервалах глубин по вертикальному профилю — 74–90, 90–102 и 102–108 см (табл. 1), относящихся к пылевым зонам M4, M3 и M2.

Для интервала 90–102 см приведено графическое представление для двух методик расчета изохронного возраста (рис. 5). Образец с глубины 96–98 см, отнесенный к открытой радиометрической системе, очевидно, отклоняется от линейных зависимостей в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ и $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ — $^{232}\text{Th}/^{234}\text{U}$. Еще один образец не вполне соответствует линейности, вероятно, по

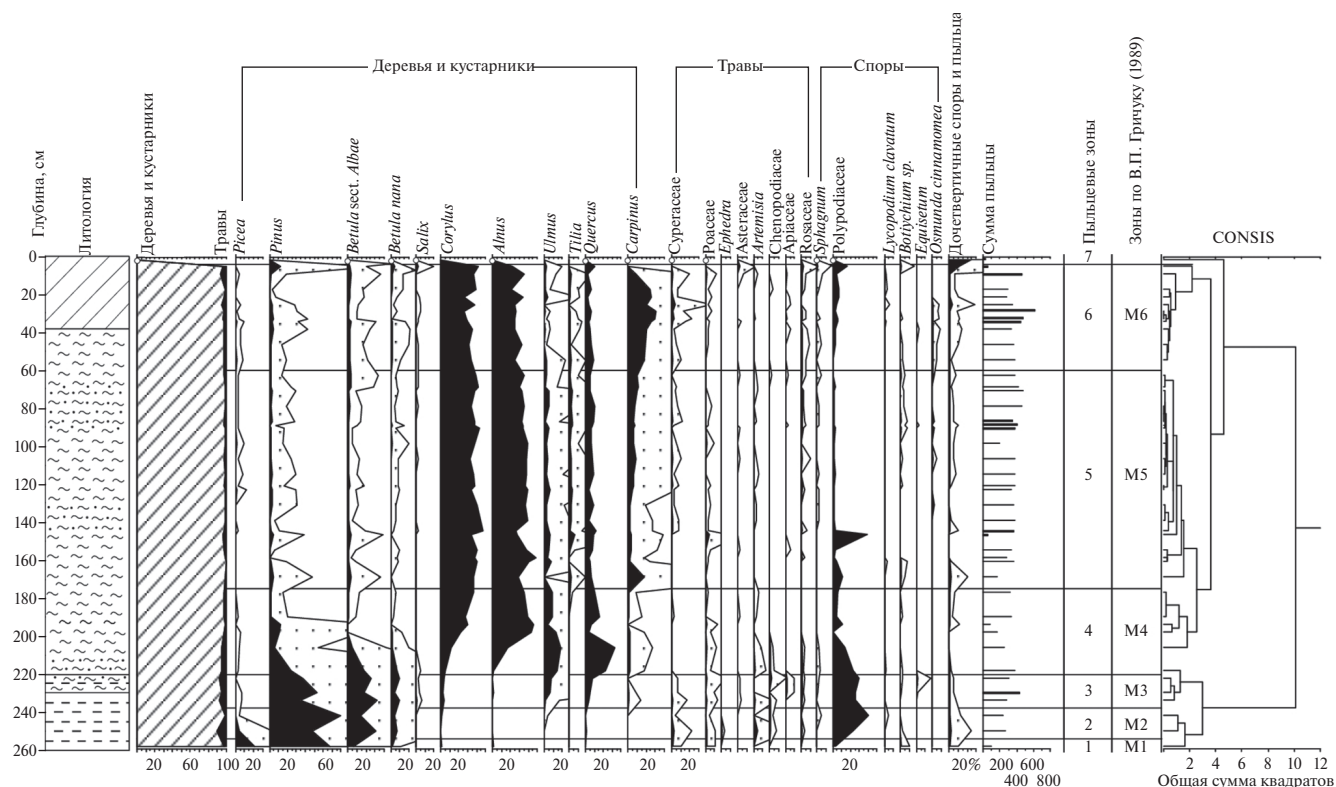


Рис. 6. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений разреза “Малая Коша”.

Fig. 6. Spore-pollen diagram of the “Malaya Kosha” section.

Таблица 1. Результаты радиохимического анализа изотопов урана и тория в образцах органогенных отложений изученных разрезов Тверской области**Table 1.** Results of radiochemical analysis of uranium and thorium isotopes in samples of organic-rich deposits from the studied sections within the Tver region

Глубина, см	ППП, %	²³⁸ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²³² Th	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁴ U/ ²³⁸ U
		расп/мин на г					
Разрез “Большая Дубенка” Интервал глубин 74–90 см							
74-76	32.7	5.7742±0.1697	5.8671±0.1719	4.7139±0.1476	2.9685±0.1025	0.8035±0.0345	1.0161±0.0291
76-78	27.9	4.8985±0.0954	4.9424±0.0962	3.8806±0.0846	2.8642±0.0662	0.7852±0.0229	1.0090±0.0182
78-80	32.2	5.8025±0.1510	5.9462±0.1541	4.5692±0.1281	2.7756±0.0852	0.7684±0.0293	1.0248±0.0240
80-82*	17.9	3.5697±0.0718	3.5390±0.0714	3.0672±0.0779	2.5382±0.0673	0.8667±0.0281	0.9914±0.0205
82-84	16.9	3.6571±0.0734	3.6476±0.0733	2.9856±0.0745	2.3982±0.0633	0.8185±0.0262	0.9974±0.0205
84-86*	19.8	4.3402±0.0998	4.5260±0.1030	3.5896±0.0845	2.7757±0.0691	0.7931±0.0260	1.0428±0.0239
86-88	16.9	3.7958±0.0832	3.8093±0.0835	3.2435±0.0784	2.5975±0.0662	0.8515±0.0278	1.0036±0.0228
88-90	17.4	4.0772±0.0795	4.1255±0.0803	3.4179±0.0840	2.3920±0.0640	0.8285±0.0260	1.0118±0.0195
Интервал глубин 90–102 см							
90-92	20.2	4.4014±0.1028	4.4830±0.1044	3.5413±0.1027	2.7256±0.0836	0.7899±0.0294	1.0185±0.0238
92-94*	25.2	5.4932±0.1178	5.5457±0.1188	4.4403±0.1017	2.5004±0.0648	0.8007±0.0251	1.0096±0.0202
94-96	25.4	5.0757±0.1139	5.1616±0.1154	3.7785±0.1038	2.3302±0.0718	0.7320±0.0259	1.0169±0.0216
96-98*	45.7	7.8123±0.1404	8.3272±0.1484	5.0161±0.1134	1.8810±0.0509	0.6024±0.0173	1.0659±0.0139
98-99	52.0	6.9746±0.1170	7.4313±0.1236	5.1454±0.1107	1.6672±0.0436	0.6924±0.0188	1.0655±0.0126
99-100	52.4	6.5514±0.1208	6.8268±0.1251	4.9220±0.1068	1.6448±0.0435	0.7210±0.0205	1.0420±0.0143
100-101	38.8	5.5803±0.0982	5.8044±0.1014	4.2934±0.0905	1.9376±0.0481	0.7397±0.0203	1.0402±0.0151
101-102	36.1	4.9118±0.1028	5.2438±0.1083	3.8092±0.0968	1.5890±0.0502	0.7264±0.0238	1.0676±0.0202
Интервал глубин 102–108 см							
102-103	39.4	3.7604±0.0752	3.9405±0.0780	3.0191±0.0834	1.6912±0.0539	0.7662±0.0260	1.0479±0.0198
103-104	34.3	3.5887±0.0760	3.7306±0.0783	3.0188±0.0729	1.8214±0.0495	0.8092±0.0259	1.0395±0.0217
104-106	31.9	2.7633±0.0605	2.8773±0.0626	2.5941±0.0706	2.0514±0.0591	0.9016±0.0314	1.0413±0.0235
106-108	6.0	2.6017±0.0646	2.7329±0.0669	2.4464±0.0722	2.6585±0.0765	0.8952±0.0343	1.0504±0.0294
Разрез “Килешино” Интервал глубин 545–570 см							
545-548	22.8	5.8893±0.1154	5.9375±0.1162	4.5902±0.1227	2.3709±0.0707	0.7731±0.0256	1.0082±0.0157
545-548	22.8	5.8474±0.1144	5.9262±0.1158	4.3688±0.1011	2.2380±0.0578	0.7372±0.0223	1.0135±0.0156
548-550	18.8	4.1310±0.0747	4.2877±0.0770	3.5498±0.0848	2.3224±0.0599	0.8279±0.0248	1.0379±0.0161
550-554	13.2	2.4687±0.0508	2.4504±0.0506	2.2532±0.0652	2.2215±0.0644	0.9195±0.0327	0.9926±0.0209
554-557	10.0	2.1970±0.0469	2.1547±0.0465	1.9690±0.0407	2.1745±0.0439	0.9138±0.0273	0.9807±0.0220
557-559	19.3	2.4562±0.0444	2.4653±0.0445	2.2188±0.0520	2.0551±0.0490	0.9000±0.0266	1.0037±0.0175
559-561	17.0	2.3708±0.0446	2.3552±0.0446	2.0824±0.0476	2.0270±0.0465	0.8842±0.0262	0.9934±0.0186
561-563	24.1	2.7359±0.0573	2.7615±0.0580	2.2906±0.0557	1.8030±0.0455	0.8295±0.0266	1.0094±0.0201
563-565	23.8	2.3943±0.0448	2.4706±0.0459	2.0412±0.0480	1.4948±0.0378	0.8262±0.0248	1.0319±0.0186
565-570	18.0	2.2800±0.0478	2.3661±0.0493	1.6278±0.0406	0.3170±0.0149	0.6880±0.0224	1.0378±0.0221

Глуби- на, см	ППП, %	²³⁸ U	²³⁴ U	²³⁰ Th	²³² Th	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁴ U/ ²³⁸ U
		расп/мин на г					
565-570	18.0	2.3363±0.0442	2.5099±0.0467	1.7478±0.0336	0.3452±0.0117	0.6964±0.0186	1.0743±0.0198
Разрез “Малая Коша” Интервал глубин 96—180 см							
96-98	9.3	1.9750±0.0515	1.9473±0.0511	1.8782±0.0648	2.4369±0.0797	0.9645±0.0418	0.9860±0.0279
112-114	6.3	1.8817±0.0556	1.9101±0.0562	1.7409±0.0568	2.3284±0.0714	0.9114±0.0400	1.0151±0.0330
116-118	6.5	1.6925±0.0498	1.7224±0.0503	1.6838±0.0595	2.2679±0.0756	0.9776±0.0448	1.0176±0.0328
120-122	13.4	2.2166±0.0479	2.1891±0.0475	2.0923±0.1023	2.8151±0.1322	0.9558±0.0511	0.9876±0.0212
122-124*	15.2	2.3030±0.0716	2.4106±0.0740	2.1016±0.0525	2.7822±0.0665	0.8718±0.0345	1.0467±0.0329
124-126	9.7	1.7122±0.0556	1.7101±0.0556	1.5965±0.0445	2.1189±0.0557	0.9335±0.0400	0.9988±0.0361
126-128*	13.3	2.2117±0.0647	2.2472±0.0654	1.9523±0.0854	2.5443±0.1063	0.8687±0.0457	1.0161±0.0311
128-130*	11.7	1.9832±0.0525	1.9624±0.0525	1.6713±0.0587	2.1437±0.0699	0.8517±0.0376	0.9895±0.0303
130-132	11.5	1.6586±0.0574	1.7304±0.0590	1.4939±0.0452	1.8440±0.0531	0.8633±0.0393	1.0433±0.0405
132-134*	12.4	1.5245±0.0425	1.6205±0.0444	1.3836±0.0496	1.7704±0.0584	0.8538±0.0385	1.0630±0.0348
166-168*	8.2	1.0397±0.0323	1.0609±0.0330	0.9805±0.0315	1.0940±0.0336	0.9242±0.0413	1.0204±0.0382
168-170*	10.3	1.4572±0.0514	1.2768±0.0473	1.1220±0.0387	1.3327±0.0434	0.8787±0.0445	0.8762±0.0374
170-172*	12.8	1.6033±0.0874	1.4684±0.0824	1.3640±0.0460	1.4927±0.0490	0.9289±0.0608	0.9159±0.0588
172-174*	8.9	1.0249±0.0450	0.9829±0.0449	0.8430±0.0222	0.9654±0.0244	0.8577±0.0452	0.9590±0.0519
174-176	16.4	1.7552±0.0470	1.7466±0.0470	1.5087±0.0436	1.5154±0.0438	0.8638±0.0341	0.9951±0.0288
176-178	14.7	1.5392±0.0402	1.6423±0.0423	1.3806±0.0355	1.4394±0.0367	0.8406±0.0306	1.0670±0.0298
178-180	13.0	1.3346±0.0386	1.3521±0.0389	1.1583±0.0362	1.1557±0.0361	0.8567±0.0364	1.0131±0.0334
Разрез “Граничная” Интервал глубин 2—12 см							
2-4	49.3	9.4952±0.2657	9.4426±0.2646	3.0359±0.0864	2.7508±0.0800	0.3215±0.0128	0.9945±0.0236
4-6	37.8	3.0682±0.0996	2.9560±0.0969	2.4403±0.0755	2.7091±0.0822	0.8255±0.0372	0.9634±0.0324
8-10	39.5	3.2911±0.0722	3.1615±0.0701	2.6298±0.0941	2.8497±0.1003	0.8318±0.0350	0.9606±0.0214
10-12	37.4	3.5946±0.1077	3.6060±0.1082	3.1920±0.0997	3.3266±0.1029	0.8852±0.0383	1.0032±0.0313
Интервал глубин 12—28 см							
12-14	34.0	2.7726±0.0898	2.8295±0.0911	2.3017±0.0847	2.4254±0.0882	0.8135±0.0398	1.0205±0.0350
14-16	60.6	2.6320±0.0561	2.5907±0.0554	2.1687±0.0605	2.1467±0.0599	0.8371±0.0294	0.9843±0.0203
16-18*	55.8	2.7684±0.0631	2.6757±0.0615	2.3938±0.0684	2.5038±0.0710	0.8947±0.0328	0.9665±0.0220
18-20*	69.3	2.5761±0.0527	2.6492±0.0539	2.2782±0.0754	2.3704±0.0780	0.8600±0.0334	1.0284±0.0192
20-22	73.7	2.4614±0.0465	2.4308±0.0461	2.0032±0.0607	2.0439±0.0617	0.8241±0.0294	0.9876±0.0163
22-24*	72.3	2.6028±0.0682	2.4694±0.0656	2.1405±0.0732	2.0249±0.0699	0.8668±0.0375	0.9488±0.0243
24-26	47.5	4.5552±0.1136	4.5768±0.1141	3.7940±0.1425	3.7414±0.1407	0.8290±0.0374	1.0047±0.0229
26-28	28.1	5.8552±0.1398	5.8680±0.1398	4.5819±0.1435	3.9500±0.1281	0.7808±0.0307	1.0022±0.0238

Примечание: * — образцы исключены из расчета изохронного возраста для каждого из соответствующих интервалов глубин (объяснения см. в тексте).

Note. * — samples are excluded from the isochron age calculation in a series of samples for each of the corresponding depth intervals (see text for explanations).

причине наличия нескольких источников первичного ториевого загрязнения и поэтому также исключен из рассмотрения.

Результаты изохронного датирования отложений на трех участках глубин 74–90, 90–102 и 102–108 см, а также их соответствие пыльцевым зонам миккулинского межледниковья приведены в табл. 2.

Разрез “Малая Коша”. Спорово-пыльцевой анализ. На СПД выделено 7 пыльцевых зон (рис. 6).

Палинозона 1 (260–254 см). В спектрах господствует пыльца *Pinus* (до 67%). Отмечено высокое содержание пыльцы *Picea* (до 21%). Пыльца травянистых представлена, в основном, Сурегасеае и Роасеае. Среди споровых доминируют споры семейства Polypodiaceae.

Палинозона 2 (254–238 см). Доминирует пыльца *Pinus* (35–80%) и *Betula* sect. *Albae* (14–33%). Пыльца *Picea* выпадает из состава спектров. Содержание пыльцы *Betula nana* составляет от 4 до 10%. Присутствуют единичные пыльцевые зерна широколиственных пород. Резко возрастает количество спор Polypodiaceae (до 41%).

Палинозона 3 (238–220 см). В спектрах по-прежнему господствует пыльца *Pinus* и *Betula* sect. *Albae*. Количество пыльцы широколиственных пород деревьев *Ulmus* и *Quercus* достигает 8%.

Палинозона 4 (220–175 см). В спектрах доминирует пыльца *Alnus* и *Corylus*. Отличительной особенностью зоны является высокое содержание пыльцы *Quercus* (максимум 34%) и *Ulmus* (максимум 18%). Количество спор семейства Polypodiaceae существенно снижается.

Палинозона 5 (175–60 см). Зона характеризуется абсолютным максимумом пыльцы *Corylus* (33–45%) и *Alnus* (26–49%). В спектрах этой зоны отмечено появление пыльцы *Tilia* (1–6%). Количество пыльцы *Quercus* снижается до 5%. Впервые встречены споры *Osmunda cinnamomea*.

Палинозона 6 (60–4 см). Особенностью зоны является увеличение в спектрах количества пыльцы *Carpinus* (максимум 31%). Присутствуют споры *Osmunda cinnamomea*.

Палинозона 7 (4–0 см). Отмечена пыльца *Betula* sect. *Albae*, *Betula nana*, *Salix*, *Alnus*, *Quercus*, *Carpinus*, Сурегасеае, Роасеае. Зафиксированы единичные споры Polypodiaceae и *Sphagnum*. Содержание дочетвертичных спор и пыльцы в этой зоне достигает 25%.

Сопоставление наших данных с результатами предыдущих исследований отложений на р. Мал. Коша (Чеботарева, 1961; Ананова и др., 1973) выявило сходство полученных спорово-пыльцевых

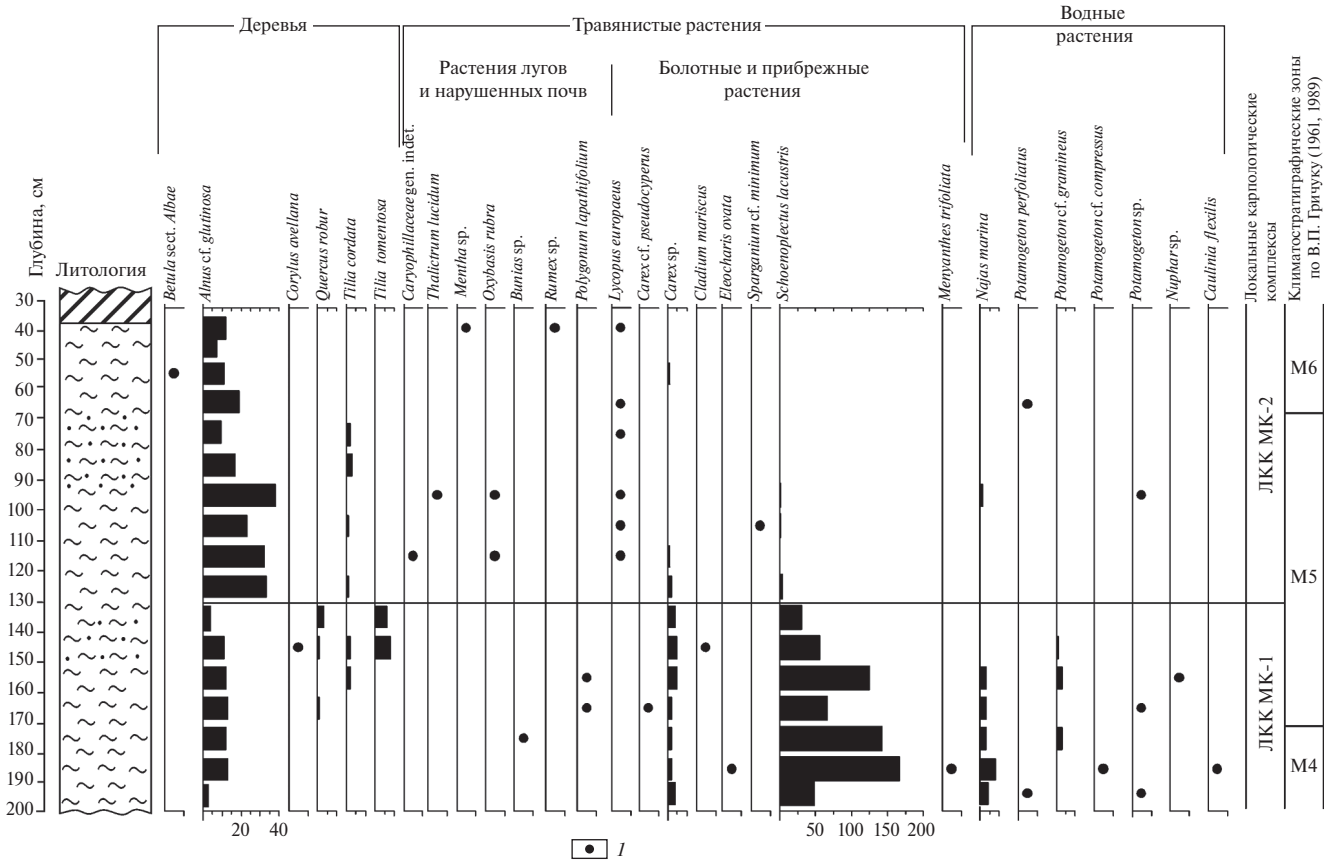
спектров с этапами развития растительности миккулинского межледниковья (зоны М1–М7).

По данным спорово-пыльцевого анализа накопление глин (260–238 см) на данной территории сопровождалось расселением разреженных еловых (палинозона 1), а затем березовых и сосновых лесов (палинозона 2). В соответствии со схемой биостратиграфического деления, предложенной В.П. Гричуком (Гричук, 1961, 1989), эти пыльцевые зоны соответствуют зонам М1 и М2 миккулинского межледниковья. Впоследствии (палинозона 3) увеличивается роль сосново-березовых лесов с примесью дуба и вяза, что сопоставляется с зоной М3. В это же время начинается озерное осадконакопление. Дальнейшее распространение дубовых лесов с участием вяза, граба, ольхи и лещины соответствует зоне М4. Следующий этап развития растительности характеризуется распространением полидоминантных широколиственных лесов из дуба, вяза, граба и липы с лещиной и ольхой в подлеске (зона М5). В травянистом ярусе произрастал папоротник осмунда. На следующем этапе (зона М6) увеличилась роль граба в широколиственных лесах с участием лещины и ольхи.

Палеокарпологический анализ. Видовой состав карпоидов и их количество в 17 образцах отображены на карпологической диаграмме (рис. 7). В изученном разрезе можно выделить два ЛКК.

В ЛКК МК-1 (глубина 130–200 см) преобладают остатки прибрежно-водных растений, представленных многочисленными орешками *Schoenoplectus lacustris* и *Carex* sp. Определен орешек *Cladium mariscus*. Отмечены остатки водных растений: семена *Najas marina* и *Caulinia flexilis*, эндокарпы рдестов, фрагменты семян кубышки (*Nuphar* sp.). Остатки древесных пород представлены, в основном, орешками ольхи. Кроме того, определены остатки широколиственных пород: плюски дуба (*Quercus robur*) и плоды липы (*Tilia tomentosa*, *Tilia* sp.). Из остатков кустарников найдены фрагменты скорлупы орехов лещины (*Corylus avellana*). Остатки растений нарушенных субстратов представлены единичными плодами *Bunias* cf. *orientalis* и *Polygonum lapathifolium*.

ЛКК МК-2 (глубина 35–130 см) выделяется по резкому снижению количества плодов *Schoenoplectus lacustris* и увеличению содержания орешков ольхи. Остатки широколиственных пород деревьев представлены немногочисленными плодами липы. Остатки водных растений отмечены в единичных количествах и не во всех образцах. Возрастает участие остатков растений влажных местообитаний



(*Lycopus europaeus*, *Thalictrum lucidum*) и нарушенных почв (*Oxybasis rubra*, *Rumex* sp.). В этом интервале отмечены и фаунистические остатки: в образце с глубины 80–90 см найден позвонок рыбы, в образце 60–70 см — статобласты мшанок.

Выделенные карпологические комплексы сходны по составу с комплексом, выделенным ранее из этого же местонахождения, в котором были также определены плоды *Tilia tomentosa* (Ананова и др., 1973).

В рассмотренных ЛКК присутствуют виды прибрежных и водных растений, также характерные для флоры микулинского межледникового: *Cladium mariscus*, *Najas marina* и *Caulinia flexilis*. Все это позволяет отнести изученную флору к наиболее теплообеспеченным фазам микулинского межледникового. Сопоставление с палинологическими данными показало, что ЛКК МК-1 соответствует концу пылевой “зоны дуба и вяза” М4 и первой половине “зоны липы” М5, ЛКК МК-2 отвечает второй половине зоны М5 и началу “зоны граба”

М6, т.е. климатическому оптимуму микулинского межледникового.

Карпологические комплексы разреза “Малая Коша”, по-видимому, сформировались в мелководных озерных условиях, хотя макроостатки водных растений в ЛКК малочисленны.

²³⁰Th/²³²Th-датирование. Значения отношения активностей ²²⁸Th/²³²Th в образцах по вертикальному профилю органогенных отложений в верхних слоях в диапазоне глубин 38–90 см отклонялись от единицы более чем на ±1σ. На этом участке, вероятно, могли нарушаться условия закрытой радиометрической системы в течение последних 25–30 лет.

Соответственно, детальный радиохимический анализ изотопов U и Th был выполнен для образцов, отобранных из толщи в диапазоне 96–180 см (табл. 1) и отнесенных к пылевой зоне М5. К явно открытым радиометрическим системам относятся несколько образцов. На глубине 168–172 см значения отношения активностей

Таблица 2. $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -изохронный возраст органических отложений изученных разрезов в Тверской и Смоленской областях**Table 2.** $^{230}\text{Th}/\text{U}$ isochron age of organic-rich deposits in the studied sections from the Tver and Smolensk regions

Глубина, см	Линейная методика		Нелинейная методика		²³⁰ Th/U-изохрон- ный возраст*, тыс. лет	Пыльцевая зона по (Гри- чук, 1989)
	возраст, тыс. лет	доверит. интер- вал, тыс. лет	возраст, тыс. лет	доверит. интер- вал, тыс. лет		
Граничная						
28–12 (5 обр.)	101.9±11/8.5 (R=0.9842)	112–93	104.3±3.6	108–101	108–101	М6 (основн. часть)
Килешино						
570–545 (11 обр.)	114.1±2.7/2.4 (R=0.9998)	117–112	114.7±4.2	119–111	117–112	М4
Большая Дубенка						
90–74 (6 обр.)	111.7±10/8 (R=0.983)	122–104	110.2±5.3	116–105	116–105	М4
102–90 (6 обр.)	113.9±4.6/4.1 (R=0.9982)	118–110	116.1±4.1	120–112	118–112	М3
108–102 (4 обр.)	114.9±11.7/9.5 (R=0.9928)	127–105	124.5±11.3	136–113	127–113	М2
Малая Коша						
180–96 (9 обр.)	111.9±6.6/5.3 (R=0.988)	118–107	106.2±5.9	112–100	112–107	М5
Нижняя Боярщина (Максимов и др., 2022)						
137–119 (7 обр.)	100.6±4.6/4.1 (R=0.9923)	105–97	96.5±5.3	102–91	102–97	М6
179–165 (7 обр.)	107.3±3.0/2.7 (R=0.9999)	110–105	109.8±2.2	112–108	110–108	М5 (центр. часть)
303–289 (7 обр.)	127.6±3.7/3.3 (R=0.9996)	131–124	128.1±2.0	130–126	130–126	М1 (верхняя часть)

Примечание: R — коэффициент линейной корреляции; * — отрезок перекрытия доверительных интервалов по линейной и нелинейной методикам.

Note. R — is the coefficient of linear correlation; * — interval of overlapping confidence intervals by linear and non-linear techniques.

$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ существенно меньше единицы (т.е. более чем на 1σ), что является результатом преимущественного постседиментационного выщелачивания ^{234}U из отложений в соответствии с эффектом Чердынцева–Чалова (Чердынцев, Чалов, 1977). Без этих образцов доверительные интервалы изохронного возраста, рассчитанные по линейной ($122 \pm 7/5$ тыс. л.) и нелинейной (104 ± 8 тыс. л.) методикам для серии из 14 образцов, не перекрываются между собой. Причиной являются недостаточно высокие коэффициенты корреляции линейных зависимостей в соответствующих координатах. Их увеличению способствует удаление еще нескольких образцов. В этом случае может быть вычислен изохронный возраст с перекрывающейся временной областью по обоим методикам (табл. 2). Следует отметить, что вариантов расчета для разных комбинаций образцов может быть несколько, однако это обстоятельство принципи-

альным образом не изменяет изохронный возраст. Таким образом, толща на глубинах 96–180 см, соответствующая большей части зоны М5, отлагалась примерно в интервале 112–107 тыс. л. н.

Разрез “Граничная”. Спорово-пыльцевой анализ. На СПД выделено 4 палинозоны (рис. 8).

Палинозона 1 (82.5–60 см). В спектрах преобладает пыльца трав (30–65%). Пыльца древесных и кустарниковых пород — *Pinus*, *Betula sect. Albae*, *Betula nana*, *Picea*, *Salix* — содержится в небольшом количестве. Количество дочетвертичной пыльцы и спор составило 7%.

Палинозона 2 (60–30 см). Первая половина зоны (2а) характеризуется увеличением пыльцы древесно-кустарниковой группы, за счет пыльцы *Picea* и *Pinus*. В группе трав преобладает пыльца *Artemisia* и *Сурегасеае*, обнаружена пыльца *Ephedra*. Во второй половине зоны (2в) зафиксирован пик пыльцы *Picea* (36%) и появление пыльцы *Alnus* (17–27%),

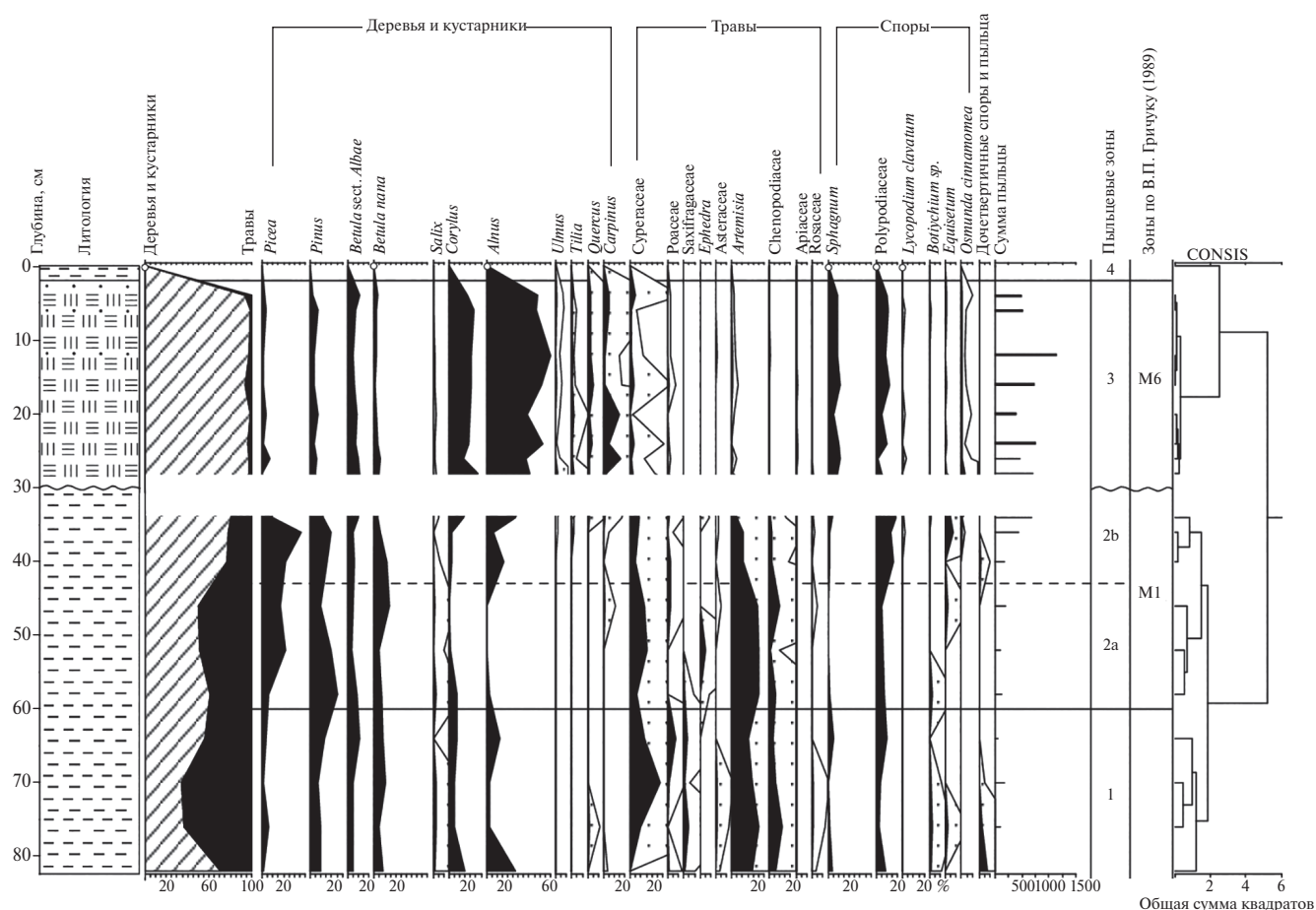


Рис. 8. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений разреза “Граничная”.

Fig. 8. Spore-pollen diagram of the sediments from the “Granichnaya” section.

Corylus (7–13%). Среди споровых преобладают споры Polypodiaceae.

Палинозона 3 (30–2 см). Спорово-пыльцевые спектры резко отличаются от предыдущей зоны по обилию пыльцы *Alnus* (37–60%), *Corylus* (13–26%), а также широколиственных пород. Кривая содержания пыльцы *Carpinus* образует максимум 16%, *Quercus* — 6%, а *Tilia* и *Ulmus* по 2% соответственно. Количество пыльцы трав не превышает 6%. Среди споровых преобладают споры *Sphagnum* и Polypodiaceae, постоянно присутствуют споры *Osmunda cinnamomea*.

Палинозона 4 (2.5–0 см). В спорово-пыльцевых спектрах содержатся единичные пыльцевые зерна *B. nana*, *Alnus* и споры *Sphagnum*, Polypodiaceae, *Lycopodium clavatum*.

Выделенные палинозоны были сопоставлены с зонами, предложенными В.П. Гричуком (Гричук, 1989) для микулинского межледниковья. Палинозона 2 отвечает началу межледниковья и соответствует зоне М1. Это время развития островных еловых и сосновых лесов с элементами перигля-

циальной флоры (*Betula nana*, *Salix*, *Ephedra*). Резкая граница между глиной и торфом на глубине 30 см, по-видимому, фиксирует перерыв в осадконакоплении. Палинозона 3 соответствует зоне М6 и отвечает концу климатического оптимума микулинского межледниковья. На окружающей территории произрастали полидоминантные широколиственные леса с преобладанием граба, участием ольхи и с обильным подлеском из лещины, в травяном ярусе с участием осмунды. Зоны М2–М5, а также М7 и М8 не нашли отражения в данном разрезе. Таким образом, в разрезе “Граничная” представлены отложения, которые формировались в начальную фазу (зона М1) и во вторую половину микулинского межледниковья (зона М6).

²³⁰Th/^U-датирование. Толща торфа с глубины 2–30 см была существенно обводнена, что могло влиять на сохранность закрытой радиометрической системы в отложениях. В ходе экспериментальной работы выявлены следующие обстоятельства. С одной стороны, величина отношения активностей ²²⁸Th/²³²Th по вертикальному профи-

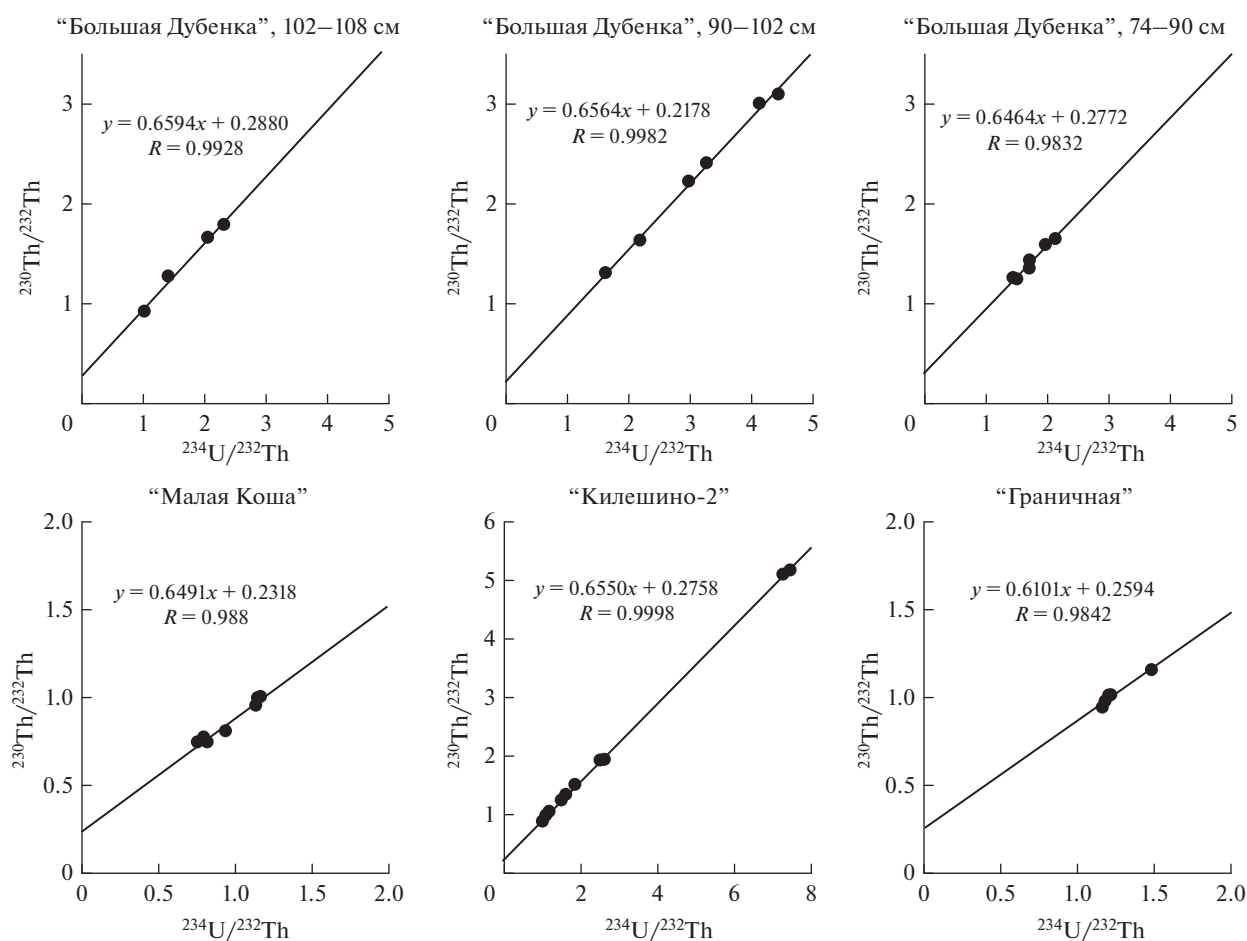


Рис. 9. Линейные зависимости по аналитическим данным изученных разрезов в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$.

Fig. 9. Linear dependences according to the analytical data of the studied sections in the coordinates $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$.

лю торфа варьировала около единицы в пределах погрешности, и это указывало на соблюдение условий закрытой радиометрической системы в отложениях за последние 25–30 лет. С другой стороны, основные аналитические данные (табл. 1) показали, что в некоторых слоях эти условия были нарушены значительно раньше. Верхний образец торфа был подвержен постседиментационному накоплению U, что выразилось в явном пониженном значении отношения активностей $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$. Использование этого образца в изохронных расчетах ведет к очень существенному омоложению. В четырех образцах с глубин 4–10 см, 16–18 см и 22–24 см значения отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ значительно меньше единицы, т.е. более чем на 1σ . Для этих слоев наблюдалось преимущественное постседиментационное выщелачивание ^{234}U по эффекту Чердынцева–Чалова (Чердынцев, Чалов, 1977). Для серии из остальных 7 образцов изохронный возраст будет примерно

равен 80–90 тыс. л. Можно несколько улучшить линейную корреляцию, удалив еще два образца с глубины 10–12 см и 18–20 см. В этом случае для интервала глубин 12–28 см мы получим возраст 108–101 тыс. л., соответствующей зоне М6 (табл. 2). Следует отметить, что в условиях сильной обводненности отложений, данная оценка является весьма приблизительной.

Разрез "Килешино-2". В результате палеоботанического изучения разреза было выявлено, что нижняя часть отложений в интервале 5.4–8.9 м формировалась в первой половине микулинского межледниковья (Карпухина и др., 2020). Только верх этой части (5.40–5.70 м) составляли органические отложения, отнесенные к пылевой зоне М4, которые могли быть пригодны для $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования.

$^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирование. Нами были изучены образцы суглинисто-торфяной толщи, отобранные с глубины 5.45–5.70 м относительно вертикаль-

ного профиля (табл. 1). Оценить соблюдение условия закрытой радиометрической системы в постседиментационное время на таком узком участке достаточно сложно. Тем не менее, в пользу выполнения этой предпосылки метода свидетельствуют значения отношения активностей $^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ в образцах, равные в пределах погрешности единице, а также построенные по всем образцам линейные зависимости с высокими коэффициентами корреляции и большим размахом расположения точек относительно друг друга (рис. 9). Важным является следующее обстоятельство — удаление нескольких любых точек из линейной регрессии мало влияет на изохронный возраст. В двух образцах значения отношения активностей $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ чуть меньше единицы, но с учетом погрешности они перекрывают единицу (табл. 1). То есть их отклонение от единицы в ту или иную сторону связано со статистическим фактором. Вероятно, поэтому считать эти образцы открытыми радиометрическими системами не следует. Тем более, что их исключение из изохронных расчетов почти не меняет конечные цифры.

Соответственно, для расчета изохронного возраста использованы аналитические данные всех 11 образцов (табл. 1). По итогам датирования (табл. 2) установлено, что осадконакопление в разрезе “Килешино-2”, соответствующее пылецевой зоне М4 (Карпухина и др., 2020), предположительно происходило 117–112 тыс. л. н.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты палеоботанических исследований по трем разрезам Тверской области, представленные в данной работе с привлечением опубликованных данных (разрез “Килешино-2” (Карпухина и др., 2020) и разрез “Нижняя Боярщина” (Максимов и др., 2022)), позволили выявить основные этапы развития растительности микулинского межледниковья и сопоставить их со схемой В.П. Гричука (1989) (табл. 3). Возраст отдельных фаз развития растительности был оценен с помощью $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования (табл. 2). Полученные интервалы укладываются во временные рамки опубликованных оценок возраста микулинских отложений разреза “Нижняя Боярщина” (Максимов и др., 2022) и не противоречат результатам $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования ряда изученных в разное время микулинских и эемских органогенных отложений (Geyh, 2001; Максимов, Кузнецов, 2010; Böerner et al., 2015,

2018; Rusakov et al., 2015, 2019; Rother et al., 2019; Максимов, Кузнецов и др., 2021).

Надежность $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -оценок возраста в первую очередь зависит от степени выполнения предпосылок $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -изохронного приближения, что в строгом смысле весьма трудно оценить. С этих позиций в образцах, используемых для изохронных построений, не должны обнаруживаться явные признаки открытой радиометрической системы. Более обоснованными являются датировки, рассчитанные из параметров линейных зависимостей с высокими коэффициентами корреляции, с существенным размахом расположения аналитических точек, которых должно быть в серии не менее 4–5. Относительно надежные изохронные построения и, соответственно, возрастные оценки получены для отложений разрезов “Килешино-2” — 117–112 тыс. л. и “Большая Дубенка” (90–102 см) — 118–112 тыс. л. Аналитические данные этих разрезов, приведенные в координатах $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ — $^{234}\text{U}/^{232}\text{Th}$ (основных для расчета возраста), соответствуют вышеизложенным условиям явно в большей степени, чем в остальных случаях датирования (рис. 9).

По данным изучения отложений разреза “Нижняя Боярщина” сделан вывод об относительной надежности оценок $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраста — 130–126 тыс. л. для верхней половины М1 и 110–108 тыс. л. для центральной части М5 (Максимов и др., 2022). Таким образом, возрастная реконструкция последнего межледниковья, так или иначе, может опираться на эти приведенные четыре реперные датировки, тем более что этому не противоречат доверительные интервалы остальных, вероятно, несколько менее надежных оценок возраста. С учетом этого рассмотрим возможный вариант хронологии микулинского межледниковья (табл. 3).

Его нижняя граница, сопоставляемая со второй половиной зоны М1 (Гричук, 1989; Новенко, 2016), получила возраст 130–126 тыс. л. по данным датирования слоев гиттии разреза “Нижняя Боярщина”, сформировавшихся во второй половине зоны М1 (Максимов и др., 2022). Эта оценка хорошо согласуется с началом морской подстадии МИС 5e (Litt, Gibbard, 2008), в том числе хронометрированному по большим сериям высокоточных масс-спектрометрических $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировок погребенных коралловых рифов (Stirling et al., 1998; Shackleton et al., 2003). Зона М1, являющаяся переходной от московского оледенения, нашла отражение во всех изученных разрезах и фиксирует

Таблица 3. Корреляция палеоботанических данных разрезов Тверской и Смоленской областей и возможная хронологическая схема микულიнского межледникового

Table 3. Correlation of paleobotanical data for sections from the Tver and Smolensk regions and a possible chronological scheme of the Mikulino Interglacial

Палинозоны					Зоны по В.П. Гричуку (1989)	²³⁰ Th/U-возраст, тыс. лет	Предлагаемая хронологическая схема, тыс. лет
Нижняя Боярщина ¹	Большая Дубенка ²	Малая Коша ³	Килешино-2 ⁴ (Карпухина и др., 2020)	Граничная ⁵			
Зона ели (верхний максимум ели), сосны и березы с участием граба, ольхи и лещины	Зона ели (верхний максимум ели), сосны, ольхи, лещины и граба	—	—	—	M7		-- ~ 100 ---
Зона ели и сосны с участием березы, ольхи, лещины, граба (максимум граба), липы, присутствует осмунда	Зона ели с участием граба (максимум граба), ольхи, лещины и липы, присутствует осмунда	Зона лещины, ольхи и граба (максимум граба) с участием дуба, липы и вяза, присутствует осмунда	—	Зона ольхи, лещины и граба (максимум граба) с участием дуба, липы и вяза, присутствует осмунда	M6	102–97 ¹ 108–101 ⁵	
Зона лещины и ольхи (максимум лещины и ольхи) с участием дуба и вяза, появляются граб и липа	Зона лещины и ольхи (максимум лещины и ольхи) с участием дуба и вяза, появляются граб и липа	Зона лещины и ольхи (максимум лещины и ольхи) с участием дуба, вяза, граба и липы, присутствует осмунда	—	—	M5	112–107 ³ 110–108 ¹	
Зона дуба (максимум дуба) с участием вяза, появляются лещина и ольха	Зона дуба и вяза (максимум дуба и вяза), появляется лещина	Зона дуба и вяза (максимум дуба и вяза), лещины и ольхи, присутствует граб	Зона лещины и ольхи, сосна с участием дуба и вяза (максимум вяза), присутствует бразения	—	M4	116–105 ² 117–112 ⁴	--- ~ 112 ---
Зона сосны и березы с участием дуба, вяза	Зона березы и сосны, появляется вяз	Зона сосны и березы, появляются вяз, дуб, граб, лещина	Зона сосны, дуба (максимум дуба) и вяза, присутствует осмунда	—	M3	118–112 ²	
Зона сосны и березы с участием ели, присутствует эфедра	Зона сосны с участием березы, присутствует эфедра	Зона сосны и березы, присутствует эфедра			M2	127–113 ²	
							--- ~ 126 ---

Палинозоны				Зоны по В.П. Гричуку (1989)	²³⁰ Th/U-возраст, тыс. лет	Предлагаемая хронологическая схема, тыс. лет
Зона ели (нижний максимум ели) с наибольшим участием сосны и березы, относительно высокое участие трав, присутствует эфедра	Зона ели (нижний максимум ели) и сосны с участием березы	Зона ели (нижний максимум ели) с участием сосны и березы, относительно высокое участие трав, присутствует эфедра	Зона ели (нижний максимум ели) с наибольшим участием сосны и березы, относительно высокое участие трав, присутствует эфедра	M1	130–126 ¹	~130

Примечание. 1, 2, 3, 4, 5 — соответствие ²³⁰Th/U-возраста конкретному разрезу.

Note. 1, 2, 3, 4, 5 — correspondence of ²³⁰Th/U age to a specific section.

преобладание разреженных сосновых, березовых и еловых лесов с участием перигляциальной флоры (карликовая березка, ива, полынь, эфедра и др.).

В последующем (зона М2) доля чистых еловых ценозов сокращается, преобладающей древесной породой становится сосна с участием березы. Этот этап развития растительности начался около 126 тыс. л. н. и закончился примерно 118 тыс. л. н. В дальнейшем в сосново-березовых лесах почти одновременно на рассматриваемой территории появился вяз, кроме этого, в разрезе “Малая Коша” — дуб, лещина и граб, а в разрезе “Ки-лешино-2” — только дуб. Такие изменения в составе растительности зафиксированы в зоне М3. В разрезе “Нижняя Боярщина” появление дуба отражено уже в зоне М4, когда по всей территории стали распространяться лещина и ольха. Эти события (М3–М4) происходили в интервале ~118–112 тыс. л. н.

Широкое распространение термофильной флоры (дуб, вяз, граб, липа, лещина) началось около 112 тыс. л. н. (зона М5) и завершилось около 100 тыс. л. н. В этом же возрастном интервале фиксируется максимум распространения граба (зона М6) во всех рассмотренных разрезах. Заключительный этап микулинского межледникового (зона М7) нашел отражение только в разрезах “Нижняя Боярщина” и “Большая Дубенка”. Около 100 тыс. л. н. участие хвойных пород в составе смешанных хвойно-широколиственных лесов стало увеличиваться, главным образом, за счет ели. Широкое распространение приобрели ольха и лещина, доминирующей широколиственной древесной породой оставался граб.

Таким образом можно предположить, что микулинское межледниковье от начала зоны М2 и до конца М6 продолжалось, приблизительно, от 126 до 100 тыс. л. н. А если учитывать, что его завершающие фазы М7–М8 не были датированы, продолжительность всего межледникового периода может быть не менее 25 тыс. л. Следует отметить, что формирование зоны М1 началось раньше 130 тыс. л. н., и соответственно временной интервал зон М1–М8 должен быть еще более протяженным.

Наши данные существенно превышают не только продолжительность подстадии МИС 5е, оцениваемой диапазоном 130–116 тыс. л. н. (т.е. 14 тыс. л.) в работе (Kukla et al., 2002), но и земского межледникового, полученного на основе подсчета годовичных слоев и палинологического изучения озерных донных осадков в ряде разре-

зов Германии и Италии — около 17–18 тыс. л. (Brauer et al., 2007; Lauterbach et al., 2012). В этих исследованиях показано, что потепление первой половины значительно короче похолодания его второй половины. В нашем же случае этапы потепления и похолодания сопоставимы по протяженности.

На основании изучения морской колонки донных отложений у берегов Португалии было установлено, что в Юго-Западной Европе межледниковые условия, выраженные пыльцевыми спектрами с преобладанием *Carpinus* и *Quercus*, сохранялись примерно до 107 тыс. л. н., то есть почти до конца подстадии МИС 5d (Kukla et al., 2002). В этом случае продолжительность этого периода достигала 20 тыс. л., приближаясь к нашей оценке.

По данным спорово-пыльцевого анализа и ОСЛ-датирования донных осадков Ладожского озера (Andreev et al., 2019) показано, что климат в конце МИС 5e и, возможно, в начале МИС 5d был более теплым по сравнению с голоценом. В течение МИС 5d и 5c происходило постепенное похолодание климата, сопровождавшееся последовательным исчезновением широколиственных пород. Результаты диатомового анализа этих отложений предполагают иную картину. В конце МИС 5e и начале МИС 5d (подстадии выделены по результатам СПА) отмечалось некоторое похолодание, а потом опять потепление, продолжавшееся до ~90 тыс. л. н. (Ludicova et al., 2021).

Самая большая продолжительность последнего межледниковья, включающая временной диапазон всей стадии МИС 5 и даже несколько больше, косвенно реконструирована по ЭПР датированию трансгрессивных морских осадков на севере Евразии и их корреляции с палеоботаническими записями микулинского межледникового горизонта в разрезах континентальных отложений европейской части России (Молодьков, Болиховская, 2011). В пользу этой оценки эти же авторы приводят данные ИК-ОСЛ датирования и спорово-пыльцевого изучения отложений разреза Вока на юго-западном побережье Финского залива (Болиховская, Молодьков, 2020). В результате выделения региональных пыльцевых зон, сопоставляемых с “классическими” микулинскими палинозонами М6, М7 и М8, и датирования соответствующих им отложений, установлено, что эти стадии развития растительности укладываются в интервал времени ~94–71 тыс. л. н., т.е. во вторую половину стадии МИС 5. Окончание зоны

М6 датируется ~82 тыс. л. н., что произошло существенно позже, чем по нашим данным.

Таким образом, оценка продолжительности микулинского межледниковья, полученная по результатам настоящей работы, отличается от данных других исследований. Причем это определяется существенным различием в датировках завершающих фаз этого периода. Причина расхождений, вероятно, может быть связана с применением различных индикаторов (изотопы кислорода, пыльца и споры, диатомовые водоросли и др.) в морских и континентальных осадках, свидетельствующих об окончании межледниковья. В том числе используются разные методы датирования, каждый из которых имеет свои индивидуальные предпосылки. Не исключается, что условия закрытой системы (обязательные для всех методов) в отложениях из верхов межледниковых осадков могут сохраняться хуже, чем в средних и нижних слоях. Кроме того, в целом необходимо отметить малочисленность датировок, которые прямым образом могли бы фиксировать временные рамки фаз микулинского межледниковья. С этих позиций представленная в данной работе хронологическая схема носит вероятностный характер и требует дальнейшего обоснования, в том числе статистического подтверждения, а также детализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Отложения четырех разрезов Тверской области, изученные в данной работе, соотнесены с пыльцевыми зонами микулинского межледниковья М1–М7 (табл. 3). $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст охватывает зоны от начала М2 и до конца М6 в интервале 127–101 тыс. л. н., тогда как в разрезе “Нижняя Боярщина” возрастной интервал — 130–97 тыс. л. н. получен от середины зоны М1 и до конца зоны М6 (Максимов и др., 2022). По результатам работы можно сделать следующие выводы.

На основе детальных палеоботанических исследований была подтверждена принадлежность изученных отложений четырех разрезов Тверской области к микулинскому межледниковью. Проведено биостратиграфическое расчленение разрезов, в результате чего отложения были соотнесены с пыльцевыми зонами стратиграфической схемы В.П. Гричука (1961, 1989).

Однообразный состав растительности — разреженные сосновые, березовые и еловые леса с участием перигляциальной флоры — характерен для

всей рассматриваемой территории от ~130 тыс. л. н. (а возможно и ранее) вплоть до ~126 тыс. л. н.

Показано синхронное появление вяза на рассматриваемой территории, постепенное распространение и максимальное участие других широколиственных пород после ~118 тыс. л. н.

По данным $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования и палеоботанического изучения органогенных отложений четырех разрезов Тверской области и разреза “Нижняя Боярщина” Смоленской области предложена упрощенная хронологическая схема основных этапов развития растительности в микулинское межледниковье. Началось оно ~130–126 тыс. л. н. (возможно несколько раньше). Его первая фаза, соответствующая зоне М2, окончилась ~118 тыс. л. н. Предоптимальные стадии развития растительности (зоны М3 и М4) укладываются во временной интервал ~118–112 тыс. л. н. Климатический оптимум межледниковья (зоны М5 и М6) начался ~112 тыс. л. н. и закончился около 100 тыс. л. н.

Продолжительность микулинского межледниковья, вероятно, составляла не менее 25 тыс. лет.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00813 (полевые работы, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирование, спорово-пыльцевой анализ, обработка и интерпретация палеоботанических данных) и в рамках госзадания Ботанического института РАН тема № 122011900029-7 (карпологический анализ). Обработка палеокарпологических данных выполнена в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананова Е.Н., Заррина Е.П., Казарцева Т.И. и др. (1973). Новые данные по стратиграфии межледниковых отложений на реках Малая Коша и Большая Дубенка (верховья Волги). *Бюлл. Комис. по изуч. четвертич. периода*. № 40. С. 22–34.
- Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В. и др. (1983). Споры папоротникообразных и пыльца голо-семенных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука. 208 с.
- Болиховская Н.С., Молодьков А.Н. (2020). Вторая половина МИС 5 (100–70 тысяч лет назад): ледниковые или межледниковые. В сб.: *Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Мат-лы Всерос. конф. с междунар. участ. “Марковские чтения — 2020”*. М.: Географический факультет МГУ. С. 63–70.
- Великевич Ф.Ю. (1985). Новые данные о микулинских семенных флорах Калининской области. В сб.: *Проблемы плейстоцена*. Минск: Наука и техника. С. 159–173.
- Гитерман Р.Е., Куприна Н.П., Шанцер Е.В. (1975). О микулинском возрасте межледниковых слоев у д. Килешино (Верхняя Волга). *Бюлл. Комис. по изуч. четвертич. периода*. № 44. С. 84–88.
- Гричук В.П. (1961). Ископаемые флоры как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений. В сб.: *Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений Северо-Запада Русской равнины*. М.: Изд-во АН СССР. С. 25–71.
- Гричук В.П. (1989). История флоры и растительности. М.: Наука. 183 с.
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д. (1948). Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз. 175 с.
- Домбровская А.В., Коренева М.М., Тюремнов С.Н. (1959). Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М.: Госэнергоиздат. 228 с.
- Каревская И.А., Мухаметшина Е.О., Зюганова И.С. (2017). Новые палеоботанические данные по позднему плейстоцену бассейна Верхней Волги. В сб.: *Мат-лы 14 Всерос. палинологической конф.* М.: Географический ф-т МГУ. С. 115–118.
- Карпухина Н.В., Писарева В.В., Зюганова И.С. и др. (2020). Новые данные по стратиграфии разреза у д. Килешино (Тверская область) — ключ к пониманию границ оледенений на Валдайской возвышенности в верхнем неоплейстоцене. *Известия РАН. Серия географическая*. Т. 84. № 6. С. 874–887. <https://doi.org/10.31857/S2587556620060060>
- Кац Н.Я., Кац С.В., Кипиани М.Г. (1965). Атлас и определитель плодов и семян, встречающихся в четвертичных отложениях СССР. М.: Наука. 365 с.
- Котлукова И.В. (1972). Краевые образования центральной части Валдайской возвышенности и их перигляциальное обрамление. В сб.: *Краевые образования материковых оледенений*. М.: Наука. С. 225–232.
- Краснов И.И., Колесникова Т.Д. (1967). Новые данные о межледниковых отложениях в бассейне Верхней Волги. *Бюлл. Комис. по изуч. четвертич. периода*. № 33. С. 140–146.
- Кузнецов В.Ю., Максимов Ф.Е. (2012). Методы четвертичной геохронометрии в палеогеографии и морской геологии. СПб: Наука. 191 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1972). Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Т. 1. Л.: Наука. 171 с.
- Куприянова Л.А., Алешина Л.А. (1978). Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука. 184 с.
- Максимов Ф.Е., Андреичева Л.Н., Кузнецов В.Ю. и др. (2021). Возраст и хроностратиграфическое положение озерно-болотных отложений в бассейне р. Черной на севере Большеземельской тундры по результатам их $^{230}\text{Th}/\text{U}$ - и ^{14}C -датирования. *Вестн. СПбГУ*.

- Науки о Земле*. Т. 66. Вып. 2. С. 289–309. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.206>
- Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. (2010). Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирования верхне- и среднееоплейстоценовых отложений. *Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология. География*. Вып. 4. С. 94–107.
- Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Савельева Л.А. и др. (2021). К вопросу о временных границах микулинского межледникового и его отдельных фаз. В сб.: *Пути эволюционной географии. Вып. 2: Мат-лы II Всерос. науч. конф.* М.: Институт географии РАН. С. 812–816.
- Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Попова С.С. и др. (2022). Хроностратиграфическое положение микулинских отложений (на примере опорного разреза у д. Нижняя Боярщина, Смоленская область). *Известия РАН. Серия географическая*. Т. 86. № 3. С. 447–469. <https://doi.org/10.31857/S2587556622030116>
- Молодьков А.Н., Болиховская Н.С. (2011). Климато-хроностратиграфическая схема неоплейстоцена Северной Евразии. В сб.: *Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. Вып. 3*. М.: Географический факультет МГУ. С. 44–77.
- Никитин В.П. (1969). Палеокарпологический метод. Томск: ТГУ. 82 с.
- Новенко Е.Ю. (2016). Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковье и переходные этапы климатических макроциклов. М.: ГЕОС. 228 с.
- Савельева Л.А., Рашке Е.А., Титова Д.В. (2013). Атлас фотографий растений и пыльцы дельты реки Лены. Санкт-Петербург: СПбГУ. 114 с.
- Семененко Л.Т., Козлов В.Б. (1974). Об условиях залегания микулинских отложений у д. Лошаково на р. М. Коша. *Бюлл. Комис. по изуч. четвертич. периода*. № 42. С. 154–158.
- Чеботарева Н.С., Недошивина М.А., Столярова Т.И. (1961). Московско-Валдайские (микулинские) межледниковые отложения в бассейне верхней Волги и их значение для палеогеографии. *Бюлл. Комис. по изуч. четвертич. периода*. № 26. С. 35–49.
- Чеботарева Н.С., Писарева В.В., Малясова Е.С. (1979). Древнеозерный бассейн в долине р. Малой Коши. *Известия АН СССР. Серия географическая*. № 3. С. 94–102.
- Чердынцев В.В., Чалов П.И. (1977). Явление естественного разделения ^{234}U и ^{238}U . В сб.: *Открытие в СССР № 163 с приоритетом от 27 марта 1954 г.* М.: ЦНИИПИ. С. 28.
- Andreev A.A., Shumilovskikh L.S., Savelieva L.A. et al. (2019). Environmental conditions in northwestern Russia during MIS 5 inferred from the pollen stratigraphy in a sediment core from Lake Ladoga. *Boreas*. V. 48. P. 377–386. <https://doi.org/10.1111/bor.12382>
- Börner A., Hrynoviecka A., Kuznetsov V. et al. (2015). Palaeoecological investigations and $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of Eemian interglacial peat sequence of Banzin (Mecklenburg-Western Pomerania, NE-Germany). *Quat. Int.* V. 386. P. 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.022>
- Börner A., Hrynoviecka A., Stachowicz-Rybka R. et al. (2018). Palaeoecological investigations and $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of the Eemian Interglacial peat sequence from Neubrandenburg-Hinterste Mühle (Mecklenburg-Western Pomerania, NE Germany). *Quat. Int.* V. 467. Part A. P. 62–78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.003>
- Brauer A., Allen J.R.M., Mingram J. et al. (2007). Evidence for last interglacial chronology and environmental change from Southern Europe. *Proc. of the Nat. Acad. of Sciences*. V. 104 (2). P. 450–455. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603321104>
- Cwynar L.C., Burden E., McAndrews J.H. (1979). An inexpensive sieving method for concentrating pollen and spores from fine-grained sediments. *Canadian Journal of Earth Sciences*. V. 16. № 5. P. 1115–1120.
- Geyh M.A. (2001). Reflections on the $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of dirty material. *Geochronometria*. V. 20. P. 9–14.
- Geyh M.A. (2008). Selection of suitable data sets improves $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dates of dirty material. *Geochronometria*. V. 30. P. 69–77. <https://doi.org/10.2478/v10003-008-0001-1>
- Geyh M.A., Müller H. (2005). Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and palynological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. *Quat. Sci. Rev.* V. 24. P. 1861–1872. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.007>
- Grimm E.C. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*. V. 13. P. 13–35.
- Grimm E.C. (2004). TGView, Version 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center.
- Kaufman A., Broecker W.S. (1965). Comparison of ^{230}Th and ^{14}C ages for carbonate materials from Lakes Lahontan and Bonneville. *J. of Geoph. Res.* V. 70 (16). P. 4039–4054.
- Kukla G.J., Bond G., Broecker W.S. et al. (2002). Last Interglacial Climates. *Quat. Res.* V. 58. № 1. P. 2–13. <https://doi.org/10.1006/Qres.2002.2316>
- Lauterbach S., Brauer A., Litt T. et al. (2012). Re-evaluation of the Bispingen palaeolake record — a revised chronology for the Eemian in Northern Germany. *Geophys. Res. Abstr.* V. 14. P. 8613.
- Lasberg K., Kalm V., Kihno K. (2014). Ice-free interval corresponding to Marine Isotope Stages 4 and 3 at the Last Glacial Maximum position at Kileshino, Valdaj Upland, Russia. *Estonian J. of Earth Sci.* V. 63. № 2. P. 88–96. <https://doi.org/10.3176/earth.2014.08>
- Litt T., Gibbard P. (2008). Definition of a Global Stratotype Section and Point (GSSR) for the base of the Upper (Late) Pleistocene Subseries (Quaternary System/Period). *Episodes*. V. 31 (2). P. 260–263. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2008/v31i2/015>
- Ludikova A.V., Subetto D.A., Andreev A.A. et al. (2021). The first dated preglacial diatom record in Lake Ladoga: long-term marine influence or redeposition story? *J. Paleolimnol.* V. 65. P. 85–99. <https://doi.org/10.1007/s10933-020-00150-0>
- Molodkov A., Bolikhovskaya N. (2009). Climate change dynamics in Northern Eurasia over the last 200 ka: Evidence from mollusc-based ESR-chronostratigraphy and vegetation successions of the loess–palaeosol records. *Quat. Int.* V. 201. P. 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.028>

- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. (1991). Pollen analysis. Oxford. 216 p.
- Rother H., Lorenz S., Börner A. et al. (2019). The terrestrial Eemian to late Weichselian sediment record at Beckentin (NE-Germany): First results from lithostratigraphic, palynological and geochronological analyses. *Quat. Int.* V. 501. Part A. P. 90–108. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.009>
- Rusakov A., Nikonov A., Savelieva L. et al. (2015). Landscape evolution in the periglacial zone of Eastern Europe since MIS5: Proxies from paleosols and sediments of the Chermoshnik key site (Upper Volga, Russia). *Quat. Int.* V. 365. P. 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.029>
- Rusakov A., Sedov S., Sheinkman V. et al. (2019). Late Pleistocene paleosols in the extra-glacial regions of Northwestern Eurasia: Pedogenesis, post-pedogenic transformation, paleoenvironmental inferences. *Quat. Int.* V. 501. P. 174–192. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.020>
- Shackleton N.J., Sanchez-Goni M.F., Pailler D. et al. (2003). Marine Isotope Substage 5e and the Eemian Interglacial. *Global and Planetary Change*. V. 36. P. 151–155. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00181-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00181-9)
- Stirling C.H., Esat T.M., Lambeck K. et al. (1998). Timing and duration of the Last Interglacial: evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth. *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 160. P. 745–762.
- Velichkevich F.Yu., Zastawniak E. (2006). Atlas of the vascular plant macrofossils of Central and Eastern Europe. Part 1. Pteridophytes and monocotyledons. Kraków: W. Szafer Inst. of Bot. 224 p.
- Velichkevich F.Yu., Zastawniak E. (2008). Atlas of the vascular plant macrofossils of Central and Eastern Europe. Part 2. Herbaceous dicotyledons. Kraków: W. Szafer Inst. of Bot. 380 p.
- Zyuganova I.S. (2009). Upper Pleistocene carpological assemblages from the South of the Valdai Upland. *Paleontol. J.* № 43. P. 1351–1362. <https://doi.org/10.1134/S0031030109100165>

CHRONOLOGY AND MAIN STAGES OF VEGETATION DEVELOPMENT IN THE CENTRAL REGION OF THE EAST EUROPEAN PLAIN DURING THE MIKULINO INTERGLACIAL¹

F. E. Maksimov^{a, #}, L. A. Savelieva^a, A. P. Fomenko^{a, b}, S. S. Popova^b, I. S. Zyuganova^c,
V. A. Grigoriev^a, A. Yu. Petrov^a, S. F. Boltramovich^a, and V. Yu. Kuznetsov^{a, d}

^a St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

^b Komarov Botanical Institute of the RAS, St. Petersburg, Russia

^c Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

^d Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

[#] E-mail: maksimov-fedor@yandex.ru

The chronology of the Mikulino Interglacial and its individual phases have been the subject of discussion. The goal of this study was to evaluate the time limits of the main stages of the Mikulino Interglacial on the Russian Plain according to ²³⁰Th/U dating and paleobotanical studies of lake and peat sediments from the known sections located within the Tver region on the Bolshaya Dubenka River, Malaya Kosha River, Granichnaya River, and Sizhina River (“Kileshino-2” section). An improved geochronological approach has been applied to identify layers suitable for the ²³⁰Th/U isochronous approximation. In combination with pollen and carpological studies of the deposits, this made it possible to date units corresponding to relatively narrow time intervals in the development of plant formations at different stages of the Last Interglacial. New paleobotanical studies of buried lake and peat sediments from the sections located on the Bolshaya Dubenka River, Malaya Kosha River, and Granichnaya River allowed us to restore the vegetation development during the Mikulino Interglacial in the interval of pollen zones M1–M7, i.e., more pollen zones have been analyzed and in greater detail than in 1960–1970. A chronological scheme of the main stages of vegetation development in the Mikulino Interglacial is proposed based on the results of ²³⁰Th/U dating and paleobotanical studies of organic-rich deposits from the Tver region sections in combination with previously published data obtained for the “Nizhnyaya Boyarshchina” section from the Smolensk region. The Mikulino Interglacial had begun about 130–126 kyr ago. Its first phase, corresponding to the M2 zone, ended ca. 118 kyr ago. The pre-optimal stages of vegetation development (M3 and M4 zones) fit into the time range of ca. 118–112 kyr ago. The climatic optimum of the interglacial (M5 and M6 zones) began ca. 112 kyr ago and ended ca. 100 kyr ago. The duration of the Mikulino Interglacial was probably at least 25 thousand years.

Keywords: continental organic-rich deposits, geochronology, MIS 5, ²³⁰Th/U dating method, isochron approximation, vegetation reconstruction, pollen and carpological analyses

¹ For citation: Maksimov F.E., Savelieva L.A., Fomenko A.P. et al. (2024). Chronology and main stages of vegetation development in the central region of the East European Plain during the Mikulino interglacial. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. V. 55. No. 1. P. 147–174. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2949178924010098>; <https://elibrary.ru/IITVAG>

ACKNOWLEDGMENTS

The reported study was funded by RFBR, project № 20-05-00813 (fieldwork, $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating, pollen analysis, processing and interpretation of paleobotanical data) and within the framework of the state assignment of the Botanical Institute RAS topic AAAA-A19-122011900029-7 (plant macrofossil analysis). Quantitative processing of paleocarpological data was carried out within the framework of the state assignment of the Geography IG RAS FMWS-2024-0005.

REFERENCES

- Ananova E.N., Zarrina E.P., Kazartseva T.I. et al. (1973). New data on stratigraphy of interglacial deposits on the Malaya Kosha and Bolshaya Dubenka rivers (Upper Volga). *Byull. Komis. po izuch. chetvertich. perioda*. № 40. P. 22–34. (in Russ.)
- Andreev A.A., Shumilovskikh L.S., Savelieva L.A. et al. (2019). Environmental conditions in northwestern Russia during MIS 5 inferred from the pollen stratigraphy in a sediment core from Lake Ladoga. *Boreas*. V. 48. P. 377–386. <https://doi.org/10.1111/bor.12382>
- Bobrov A.E., Kupriyanova L.A., Litvintseva M.V. et al. (1983). Spory paprotnikoobraznykh i pyl'tsa golosemennykh i odnodol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR (Spores of ferns and pollen of gymnosperms and monocotyledons of the flora of the European part of the USSR). Leningrad: Nauka (Publ.). 208 p. (in Russ.)
- Bolikhovskaya N.S., Molodkov A.N. (2020). The second half of MIS 5 (100–70 thousand years ago): glacial or interglacial? *Aktual'nye problemy paleogeografii pleistotsena i golotsena: Mat-ly Vseros. konf. s mezhdunar. uchast. "Markovskiy chleniya — 2020"*. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU (Publ.). P. 63–70. (in Russ.)
- Börner A., Hryniewiecka A., Kuznetsov V. et al. (2015). Palaeoecological investigations and $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of Eemian interglacial peat sequence of Banzin (Mecklenburg-Western Pomerania, NE-Germany). *Quat. Int.* V. 386. P. 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.022>
- Börner A., Hryniewiecka A., Stachowicz-Rybka R. et al. (2018). Palaeoecological investigations and $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of the Eemian Interglacial peat sequence from Neubrandenburg-Hinterste Mühle (Mecklenburg-Western Pomerania, NE Germany). *Quat. Int.* V. 467. Part A. P. 62–78. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.003>
- Brauer A., Allen J.R.M., Mingram J. et al. (2007). Evidence for last interglacial chronology and environmental change from Southern Europe. *Proc. of the Nat. Acad. of Sciences*. V. 104 (2). P. 450–455. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603321104>
- Chebotareva N.S., Nedoshivina M.A., Stolyarova T.I. (1961). Moscow-Valdai (Mikulin) interglacial deposits in the upper Volga basin and their significance for paleogeography. *Byull. Komis. po izuch. chetvertich. perioda*. № 26. P. 35–49. (in Russ.)
- Chebotareva N.S., Pisareva V.V., Malyasova E.S. (1979). Ancient lake basin in the valley of the river. Malaya Kosha. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. № 3. P. 94–102. (in Russ.)
- Cherdyncey V.V., Chalov P.I. (1977). The phenomenon of natural separation of ^{234}U and ^{238}U . In: *Otkrytie v SSSR № 163 s prioritom ot 27 marta 1954 g.* Moscow: CNIPI (Publ.). P. 28. (in Russ.)
- Cwynar L.C., Burden E., McAndrews J.H. (1979). An inexpensive sieving method for concentrating pollen and spores from fine-grained sediments. *Canadian J. of Earth Sci.* V. 16. № 5. P. 1115–1120.
- Dombrovskaya A.V., Koreneva M.M., Tyuremnov S.N. (1959). Atlas rastitel'nykh ostatkov, vstrechaemykh v torfe (Atlas of plant residues found in peat). Moscow: Gosenergoizdat (Publ.). 228 p. (in Russ.)
- Geyh M.A. (2001). Reflections on the $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating of dirty material. *Geochronometria*. V. 20. P. 9–14.
- Geyh M.A. (2008). Selection of suitable data sets improves $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dates of dirty material. *Geochronometria*. V. 30. P. 69–77. <https://doi.org/10.2478/v10003-008-0001-1>
- Geyh M.A., Müller H. (2005). Numerical $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating and palynological review of the Holsteinian/Hoxnian Interglacial. *Quat. Sci. Rev.* V. 24. P. 1861–1872. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.007>
- Gitterman R.E., Kuprina N.P., Shancer E.V. (1975). On the Mikulino age of interglacial layers near the village of Kileshino (Upper Volga). *Byull. Komis. po izuch. chetvertich. perioda*. № 44. P. 84–88. (in Russ.)
- Grichuk V.P. (1961). Pleistocene floras of glacial regions of the East European Plain Fossil flora as a paleontological basis for the stratigraphy of Quaternary deposits. In: *Rel'ef i stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenii Severo-Zapada Russkoi ravniny*. Moscow: Nauka (Publ.). P. 25–71. (in Russ.)
- Grichuk V.P. (1989). Istoriya flory i rastitel'nosti (The history of flora and vegetation). Moscow: Nauka (Publ.). 183 p. (in Russ.)
- Grichuk V.P., Zaklinskaja E.D. (1948). Analiz iskopaemykh pyl'tsy i spor i ego primenenie v paleogeografii (Analysis of fossil pollen and spores and its application in paleogeography). Moscow: Geografiz (Publ.). 175 p. (in Russ.)
- Grimm E.C. (1987). CONISS: A FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*. V. 13. P. 13–35.
- Grimm E.C. (2004). TGView, Version 2.0.2. Springfield: Illinois State Museum, Research and Collections Center.
- Karevskaja I.A., Muhametshina E.O., Zyuganova I.S. (2017). New Paleobotanical Data on the Late Pleistocene of the Upper Volga Basin. In: *Mat-ly 14 Vseros. palinologicheskoi konf.* Moscow: MGU (Publ.). P. 115–118. (in Russ.)
- Karpukhina N.V., Pisareva V.V., Zyuganova I.S. et al. (2020). New Data about the Section Stratigraphy near Kileshino (Tver Oblast, Russia) — the Key for Understanding Boundaries of Glaciations on the Valdai Hills in the Upper Pleistocene. *Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya*. V. 84. № 6. P. 874–887. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2587556620060060>

- Katc N.Ja., Katc C.B., Kipiani M.G. (1965). Atlas i opredelitel' plodov i semyan, vstrechayushchikhsya v chetvertichnykh otlozheniyakh SSSR (Atlas and Keys to Fruits and Seeds Occurring in the Quaternary Deposits of the USSR). Moscow: Nauka (Publ.), 365 p. (in Russ.)
- Kaufman A., Broecker W.S. (1965). Comparison of ^{230}Th and ^{14}C ages for carbonate materials from Lakes Lahontan and Bonneville. *J. of Geoph. Res.* V. 70 (16). P. 4039–4054.
- Kotlukova I.V. (1972). Marginal formations of the central part of the Valdai Upland and their periglacial framing. In: *Kraevye obrazovaniya materikovykh oledeneni.* Moscow: Nauka (Publ.). P. 225–232. (in Russ.)
- Krasnov I.I., Kolesnikova T.D. (1967). New data on interglacial deposits in the Upper Volga basin. *Byull. Komis. po izuch. chetvertich. perioda.* № 33. P. 140–146. (in Russ.)
- Kukla G.J., Bond G., Broecker W.S. et al. (2002). Last Interglacial Climates. *Quat. Res.* V. 58. № 1. P. 2–13. <https://doi.org/10.1006/Qres.2002.2316>
- Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. (1978). Pyl'tsa dvudol'nykh rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR (Pollen of dicotyledonous plants of the flora of the European part of the USSR). Leningrad: Nauka (Publ.). 184 p. (in Russ.)
- Kupriyanova L.A., Aleshina L.A. (1972) Pyl'tsa i spory rastenii flory evropeiskoi chasti SSSR. Tom 1 (Pollen and plant spores of the flora of the European part of the USSR. V. 1). Leningrad: Nauka (Publ.). 171 p. (in Russ.)
- Kuznetsov V.Yu., Maksimov F.E. (2012). Metody chetvertichnoi geokhronometrii v paleogeografii i morskoi geologii (Quaternary geochronometry methods in paleogeography and marine geology). Saint-Petersburg: Nauka (Publ.). 191 p. (in Russ.)
- Lasberg K., Kalm V., Kihno K. (2014). Ice-free interval corresponding to Marine Isotope Stages 4 and 3 at the Last Glacial Maximum position at Kileshino, Valdaj Upland, Russia. *Estonian J. of Earth Sci.* V. 63. № 2. P. 88–96. <https://doi.org/10.3176/earth.2014.08>
- Lauterbach S., Brauer A., Litt T. et al. (2012). Re-evaluation of the Bispingen palaeolake record — a revised chronology for the Eemian in Northern Germany. *Geophys. Res. Abstr.* V. 14. P. 8613.
- Litt T., Gibbard P. (2008). Definition of a Global Stratotype Section and Point (GSSR) for the base of the Upper (Late) Pleistocene Subseries (Quaternary System/Period). *Episodes.* V. 31 (2). P. 260–263. <https://doi.org/10.18814/epiugs/2008/v31i2/015>
- Ludikova A.V., Subetto D.A., Andreev A.A. et al. (2021). The first dated preglacial diatom record in Lake Ladoga: long-term marine influence or redeposition story? *J. Paleolimnol.* V. 65. P. 85–99. <https://doi.org/10.1007/s10933-020-00150-0>
- Maksimov F.E., Andreicheva L.N., Kuznetsov V.Y. et al. (2021). Age and chronostratigraphic position of lacustrine-bog deposits in the Chernaya River basin in the north of the Bolshezemelskaya tundra according to the results of their $^{230}\text{Th}/\text{U}$ - and ^{14}C -dating. *Vestn. SPbGU. Earth Sci.* V. 66. № 2. P. 289–309. (in Russ.). <https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.206>
- Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu. (2010). New version of the $^{230}\text{Th}/\text{U}$ dating method of the Upper and Middle Neopleistocene deposits. *Vestn. SPbGU. Seriya 7. Geologiya. Geografiya.* V. 4. P. 94–107. (in Russ.)
- Maksimov F.E., Kuznetsov V.Ju., Savel'eva L.A. et al. (2021). On the question of the time limits of the Mikulin interglacial and its individual phases. In: *Puti evolyutsionnoi geografii.* Vyp. 2: Mat-ly II Vseros. nauch. konf. Moscow: IG RAN (Publ.). P. 812–816. (in Russ.)
- Maksimov F.E., Savelieva L.A., Popova S.S. et al. (2022). Chronostratigraphic Position of the Mikulinian Deposits (Case of the Reference Section Near Nizhnaya Boyarshchina Village, Smolensk Oblast). *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya.* V. 86. № 3. P. 447–469. (in Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2587556622030116>
- Molodkov A., Bolikhovskaya N. (2009). Climate change dynamics in Northern Eurasia over the last 200 ka: Evidence from mollusc-based ESR-chronostratigraphy and vegetation successions of the loess–palaeosol records. *Quat. Int.* V. 201. P. 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.05.028>
- Molodkov A.N., Bolihovskaya N.S. (2011). Climatic-chronostratigraphic scheme of the Neopleistocene of Northern Eurasia. In: *Problemy paleogeografii i stratigrafii pleistotsena.* Vyp. 3. Moscow: Geograficheskii fakul'tet MGU (Publ.). P. 44–77. (in Russ.)
- Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. (1991). Pollen analysis. Oxford. 216 p.
- Nikitin V.P. (1969). Paleokarpologicheskii metod (Paleocarpological method). Tomsk: TGU (Publ.). 82 p. (in Russ.)
- Novenko E.Ju. (2016). Izmeneniya rastitel'nosti i klimata Central'noi i Vostochnoi Evropy v pozdnem pleistotsene i golotsene v mezhlednikov'e i perekhodnye etapy klimaticheskikh makrotsiklov (Changes in vegetation and climate of Central and Eastern Europe in the Late Pleistocene and Holocene in the interglacial and transitional stages of climatic macrocycles). Moscow: GEOS (Publ.). 228 p. (in Russ.)
- Rother H., Lorenz S., Börner A. et al. (2019). The terrestrial Eemian to late Weichselian sediment record at Beckentin (NE-Germany): First results from lithostratigraphic, palynological and geochronological analyses. *Quat. Int.* V. 501. Part A. P. 90–108. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.08.009>
- Rusakov A., Nikonov A., Savelieva L. et al. (2015). Landscape evolution in the periglacial zone of Eastern Europe since MIS 5: Proxies from paleosols and sediments of the Cheremoshnik key site (Upper Volga, Russia). *Quat. Int.* V. 365. P. 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.029>
- Rusakov A., Sedov S., Sheinkman V. et al. (2019). Late Pleistocene paleosols in the extra-glacial regions of Northwestern Eurasia: Pedogenesis, post-pedogenic transformation, paleoenvironmental inferences. *Quat. Int.* V. 501. P. 174–192. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.020>
- Savel'eva L.A., Rashke E.A., Titova D.V. (2013). Atlas fotografii rastenii i pyl'tsy del'ty reki Leny (Atlas of photographs of plants and pollen in the delta of the Lena River). St. Petersburg: SPbGU (Publ.). 114 p. (in Russ.)

- Semenenko L.T., Kozlov V.B. (1974). On the conditions of occurrence of the Mikulinsky deposits near the village of Loshakovo on the river. M. Kosha. *Byull. Komis. po izuch. chetvertich. perioda*. № 42. P. 154–158. (in Russ.)
- Shackleton N.J., Sanchez-Goni M.F., Pailler D. et al. (2003). Marine Isotope Substage 5e and the Eemian Interglacial. *Global and Planetary Change*. V. 36. P. 151–155. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(02\)00181-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(02)00181-9)
- Stirling C.H., Esat T.M., Lambeck K. et al. (1998). Timing and duration of the Last Interglacial: evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth. *Earth Planet. Sci. Lett.* V. 160. P. 745–762.
- Velichkevich F.Yu. (1985). New data on the Mikulino seed floras of the Kalinin region. In: *Problemy pleistotsena*. Minsk: Nauka i Tekhnika (Publ.). P. 159–173. (in Russ.)
- Velichkevich F.Yu., Zastawniak E. (2006). Atlas of the vascular plant macrofossils of Central and Eastern Europe. Part 1. Pteridophytes and monocotyledons. Kraków: W. Szafer Inst. of Bot. 224 p.
- Velichkevich F.Yu., Zastawniak E. (2008). Atlas of the vascular plant macrofossils of Central and Eastern Europe. Part 2. Herbaceous dicotyledons. Kraków: W. Szafer Inst. of Bot. 380 p.
- Zyuganova I.S. (2009). Upper Pleistocene carpological assemblages from the South of the Valdai Upland. *Paleontol. J.* № 43. P. 1351–1362. <https://doi.org/10.1134/S0031030109100165>