

9. Meyer B., Chulliat A., Saltus R. Derivation and error analysis of the earth magnetic anomaly grid at 2 arc min resolution version 3 (EMAG2v3) // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2017. V. 18, P. 4522–4537. <https://doi.org/10.1002/2017GC007280>.
10. Núñez Demarco P., Prezzi C., Sánchez Bettucci L. Review of Curie point depth determination through different spectral methods applied to magnetic data // *Geophysical Journal International*. 2021. V. 224. No 1. P. 17–39. <https://doi.org/10.1093/gji/ggaa361>.
11. Okubo Y., Matsunaga T. Curie point depth in northeast Japan and its correlation with regional thermal structure and seismicity // *Journal of Geophysical Research*. 1994. V. 99. No B11. P. 22363–22371.
12. Pirttijärvi M., 2D Fourier domain operations, FOURPOT program. 2015. <https://wiki oulu.fi/x/0oU7AQ/>.
13. Ravat D., Pignatelli A., Nicolosi I., Chiappini M. A study of spectral methods of estimating the depth to the bottom of magnetic sources from near-surface magnetic anomaly data // *Geophysical Journal International*. 2007. V. 169. P. 421–434. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03305.x.
14. Salazar J.M., Vargas C.A., Leon H. Curie point depth in the SW Caribbean using the radially averaged spectra of magnetic anomalies // *Tectonophysics*. 2017. V. 694. P. 400–413. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.11.023>.
15. Seredkina A.I., Melnikova V.I. New data on earthquake focal mechanisms in the Laptev Sea region of the Arctic-Asian seismic belt // *Journal of Seismology*. 2018. V. 22. No 5. P. 1211–1224. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9762-9>.
16. Tanaka A., Okubo Y., Matsubayashi O. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia // *Tectonophysics*. 1999. V. 306. P. 461–470.

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ МИКУЛИНСКОГО МЕЖЛЕДНИКОВЬЯ В ВЕРХОВЬЯХ ВОЛГИ (ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ И ПАЛЕОКАРПОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ РАЗРЕЗОВ НА рр. БОЛЬШАЯ ДУБЕНКА И МАЛАЯ КОША)

Фоменко А.П.^{1,2,3}, Савельева Л.А.¹, Максимов Ф.Е.¹, Попова С.С.², Петров А.Ю.¹, Григорьев В.А.¹, Кузнецов В.Ю.¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, fomenko.antonina@gmail.com

² ФГБУ «ВСЕГЕИ» им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург

³ Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург

Микулинское межледниковье, коррелирующее с эемским интергляциалом в Западной и Центральной Европе, является последним межледниковьем на территории Восточно-Европейской платформы. По распространенному мнению микулинское межледниковье сопоставимо с морской изотопной подстадией (МИС) 5e (Shackleton, 1969). До сих пор геохронологические рамки этого временного интервала остаются предметом дискуссий, в том числе из-за ограниченного числа методов абсолютного датирования, которые могут быть применены к отложениям такого возраста. Одним из них является уран-ториевый ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) метод датирования. К настоящему времени $^{230}\text{Th}/\text{U}$ методом получено несколько дат из органогенных слоев микулинских отложений (Максимов, Кузнецов, 2010; Максимов и др., 2020; Максимов и др., 2022; Rusakov et al., 2015). Было установлено, что протяженность последнего межледниковья лежит в интервале 130–96 тыс. лет (для пыльцевых зон М1–М7 по В.П. Гричуку (1961)). Тем не менее, необходимо проводить комплексные палеоботанические и геохронологические исследования континентальных отложений Русской Равнины, что позволит внести вклад в решение вопроса о временных рамках последнего межледниковья.

В 2020 и 2021 гг. коллективом лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных и морских регионов им. В.П. Кеппена» Института наук о Земле СПбГУ проведены полевые работы (Максимов и др., 2020; Савельева и др., 2021) на территории Северо-Запада Восточно-Европейской Равнины с целью повторного изучения разрезов, описанных ранее и опубликованных в литературных источниках (Ананова и др., 1973; Семенов, Козлов, 1974; Чеботарева и др., 1961). Образцы отложений из разрезов на рр. Большая Дубенка и Малая Коша были отобраны на спорово-пыльцевой, палеокарпологический и $^{230}\text{Th}/\text{U}$ анализы с высоким разрешением (через 2–4 см).

Подготовка проб для спорово-пыльцевого анализа проведена по стандартной методике с использованием тяжелой жидкости (Гричук, Заклинская, 1948). В каждую пробу добавлены таблетки-индикаторы *Lycopodium* (Stockmarr, 1971). Из органогенных слоев (торфа и гиттии) по методике В.П. Никитина (1969) произведено выделение растительных макроостатков, их определение осуществлено с использованием атласов и эталонной коллекции современных карпоидов БИН РАН. Получен $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраст органогенных слоев (Максимов и др., 2022).

Микулинские отложения из разреза на правом берегу р. Большая Дубенка (56°52'30,7" с. ш., 33°11'17,3" в. д.), подстилаемые и перекрытые моренными образованиями, были вскрыты в ходе геологического картирования во второй половине XX в. (Чеботарева и др., 1961). Спорово-пыльцевой анализ был выполнен М.А. Недошивиной с разрешением 20 см (Чеботарева и др., 1961). По его результатам выделены пыльцевые зоны М4–М7 согласно стратиграфической схеме, предложенной В.П. Гричуком для Русской Равнины (1961). Позже разрез был повторно изучен и более детально (интервал отбора образцов составил 10–15 см) опробован на спорово-пыльцевой анализ Е.Н. Анановой и Т.И. Казарцевой (Ананова и др., 1973). По его результатам зафиксированы зоны М3–М7. Кроме того, отмечено большее разнообразие определенных видов растительности, в том числе прибрежно-водных.

В 2020 г. коллективом лаборатории им. В.П. Кеппена СПбГУ вскрыты отложения мощностью 126 см, представленные (снизу вверх) 126–116 см – глинистым диамиктоном серо-голубым, с карбонатными включениями и гравием; 116–104 см – переходным от глинистого диамиктона к торфу слою; 104–96 см – торфом черным, с большим количеством неразложившихся растительных остатков; 96–36 см – песчанистой гиттией сине-коричневатой, с растительными остатками; 36–30 см – алевритами темно-коричневыми, с пятнами ожелезнения; 30–14 см – алевритами серыми; 14–0 см – песчаным диамиктоном красно-бурым, с гравием, галькой и валунами.

Проведенные палеоботанические исследования позволили сделать вывод, что отложения начали формироваться в начале микулинского межледниковья (зона М1). Всего выделено девять палинологических комплексов, соответствующих климатостратиграфическим зонам М1–М7. Не зафиксирован переход от последнего межледниковья к валдайскому оледенению (зона М8). Вероятно, отложения, отвечающие этой зоне, были эродированы ледником (Фоменко и др., 2021).

Переход от московской эпохи оледенения к микулинскому межледниковью (зона М1) характеризовался распространением пионерной растительности, в том числе ивы и березки карликовой. Кроме того, отмечено обилие папоротников.

В первую половину начальной фазы межледниковья (зона М2) на территорию начали проникать мелколиственные породы, такие как береза. Среди хвойных пород отмечены сосна и ель. Тем не менее, леса были разреженными, встречена эфедра. Затем появился вяз (зона М3). Увеличилась роль березово-сосновых лесов, что многочисленными находками устьиц сосны и макроостатков березы. В травянистом покрове наблюдалось обилие и разнообразие видов. По берегам и на мелководьях образовавшегося в это время локального водоема произрастали умеренно-термофильные виды растений, такие как *Ceratophyllum demersum*, *Stratiotes aloides* и *Myriophyllum*, также встречены *Carex*, *Typha*, *Menyanthes trifoliata*. Далее (зона М4) господствовали леса, где основными доминантами являлись *Quercus robur* и *Ulmus*. Участие также принимали ясень и калина. В это время произошло резкое и значительное снижение разнообразия прибрежной и водной растительности.

В оптимум микулинского межледниковья последовательно развивались липовые (зона М5) и грабовые (зона М6) лесные сообщества с примесью ели. В подлеске произрастала лещина и ольха. О влажном и теплом климате свидетельствовало присутствие в сообществах *Humulus lupulus* и *Osmunda*. В локальном водоеме обитали кувшинковые.

В заключительный этап межледниковья (зона М7) возросла роль влаголюбивой ели. Кроме того, были распространены березово-сосновые леса. Значительное участие принимали термофильные породы деревьев и кустарников, среди которых граб, липа, вяз и лещина. Во влажных лесах произрастала осмунда и плауны.

Данные $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования торфа и гиттии из разреза на р. Большая Дубенка позволяют предположить, что климатостратиграфическая зона М4 отвечает завершению подстадии МИС-5е (Фоменко и др., 2021).

Упоминания о микулинских отложениях из разреза на правом берегу р. Малая Коша (56°43'27,6" с. ш., 33°44'29,0" в. д.) впервые были встречены в трудах XIX и XX вв. (Семененко, Козлов, 1974). Позже обнажение было детально изучено в ходе геологического картирования территории во второй половине XX в. Кроме того, М.А. Недошивиной проведен спорово-пыльцевой анализ отложений. Зафиксированы зоны М1–М4 микулинского межледниковья (Чеботарева и др., 1961). С целью уточнения относительного возраста отложений Е.Н. Анановой и Т.И. Казарцевой были выполнены повторные палинологические исследования, по результатам которых зафиксированы пыльцевые зоны М3–М6 (Ананова и др., 1973).

В 2021 г. коллективом лаборатории им. В.П. Кеппена СПбГУ были продолжены полевые работы в Верховьях Волги, по результатам которых изучены отложения микулинского возраста на р. Малая Коша близ дер. Лошаково. Снизу вверх вскрыты отложения мощностью 260 см: 260–230 см – глины серо-голубые; 230–220 см – переходный слой между глинами и гиттией; 220–38 см – гиттия темно-синяя; 38–0 см – суглинок серый.

Результаты микропалеонтологических исследований позволили выделить семь палинологических комплексов, соответствующих климатостратиграфическим зонам М1–М6.

Согласно результатам спорово-пыльцевого анализа во время зоны М1 накапливались глины. Пионерная растительность была в основном представлена березой карликовой.

В начальную фазу межледниковья на изучаемой территории произрастали березово-сосновые леса с участием ивы (зона М2). В кустарничковом ярусе произрастала эфедра. Далее (зона М3) в лесные сообщества проникли широколиственные породы, такие как вяз, дуб и граб. Отмечено появление прибрежно-водных видов растительности, а именно *Potamogeton* и *Sparganium*. Во вторую половину начальной фазы (зона М4) накапливались осадки локального водоема. Господствовали дубовые леса с примесью ольхи и лещины. Увеличилось разнообразие прибрежно-водной растительности, появились *Myriophyllum*, *Nuphar* и *Menyanthes trifoliata*.

В оптимум межледниковья на территории были широко распространены широколиственные породы деревьев. В лесных сообществах также встречался ясень и лещина. Первые результаты изучения карпологических остатков свидетельствуют о распространении дуба, липы и ольхи на изучаемой территории. Кроме того, в отложениях обнаружены плоды хвойных деревьев. Увеличилось разнообразие водной растительности.

В настоящее время проводятся геохронологические исследования органогенных отложений из разреза на р. Малая Коша для получения $^{230}\text{Th}/\text{U}$ возраста.

Спорово-пыльцевые спектры изученных разрезов, отражают типичную смену доминант в лесных сообществах, характерную для последнего межледниковья (Гричук, 1961). Анализ и сравнение спорово-пыльцевых диаграмм разрезов на pp. Большая Дубенка и Малая Коша показали, что пыльца хвойных пород деревьев в отложениях из разреза на р. Малая Коша присутствует на протяжении всего периода межледниковья. Кроме того, встречены плоды хвойных деревьев в климатостратиграфической зоне М5. Вероятно, это свидетельствует о локальном распространении растительности на данной территории. Помимо этого, абсолютные значения концентрации пыльцы в отложениях из разреза на р. Большая Дубенка значительно превышают значения, рассчитанные для отложений из разреза на р. Малая Коша. По всей видимости, это связано с тем, что отложения на р. Малая Коша не были подвергнуты уплотнению посредством валдайского ледника.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ №20-05-00813 «Уранториевый возраст и история развития растительности начальных, оптимальных и конечных фаз микулинского межледниковья на Северо-Западе Русской равнины».

Литература

1. Ананова Е.Н., Заррина Е.П., Казарцева Т.И., Краснов И.И. Новые данные по стратиграфии межледниковых отложений на реках Малая Коша и Большая Дубенка (верховья Волги) // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1973. № 40. С. 22–34.
2. Гричук В.П., Заклинская Е.Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М. Изд-во: ОГИЗ. 1948. 223 с.
3. Гричук В.П. Ископаемые флоры как палеонтологическая основа стратиграфии четвертичных отложений // Рельеф и стратиграфия четвертичных отложений Северо-Запада Русской равнины. М. 1961. С. 25–71.
4. Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. Новая версия $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования верхне- и среднеоплейстоценовых погребенных органогенных отложений // Вестник СПбГУ. 2010. Сер. 7. Вып. 4. С. 94–107.
5. Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Левченко С.Б., Григорьев В.А., Петров А.Ю., Фоменко А.П., Хребтневский В.В., Кузнецов В.Ю. К вопросу о хронологии микулинского межледниковья на Северо-Западе Русской Равнины // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Вып. 7. С. 322–326. doi:10.24411/2687-1092-2020-10752.
6. Максимов Ф.Е., Савельева Л.А., Попова С.С., Зюганова И.С., Григорьев В.А., Левченко С.Б., Петров А.Ю., Фоменко А.П., Панкратова Л.А., Кузнецов В.Ю. Хроностратиграфическое положение микулинских отложений в опорном разрезе у д. Нижняя Боярщина (Смоленская область) по данным их $^{230}\text{Th}/\text{U}$ датирования и палеоботанического изучения // Известия РАН. Сер. геогр. 2022. № 3. С. 447–469. doi: 10.31857/S2587556622030116.