

УДК 550.384+551.793

ЭКСКУРС ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ БЛЕЙК В РАЗРЕЗЕ МИКУЛИНСКИХ МЕЖЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИНЁВСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

© 2024 г. В. И. Дуданова^{1,2}, Р. В. Веселовский^{1,2,*}, М. В. Ручкин^{3,4}, М. В. Шитов⁴

Представлено академиком РАН Л. Н. Когарко 27.06.2023 г.

Поступило 05.07.2023 г.

После доработки 03.10.2023 г.

Принято к публикации 16.10.2023 г.

Представлены первые результаты детального петро- и палеомагнитного изучения мгинских (земских) морских межледниковых отложений микулинского горизонта (первая ступень верхнего неоплейстоцена) в разрезе “Эталон” (бывший “Завод им. Свердлова”, Ленинградская область). По заниженным значениям наклонения характеристической компоненты намагниченности (ChRM) в верхней части мгинской толщи выявлен экскурс геомагнитного поля Блейк; его возраст — 117 ± 7 тыс. лет — установлен методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) и хорошо сопоставляется с оценками, полученными по другим объектам. Минералом-носителем ChRM в морских межледниковых отложениях является грейгит, сингенетическое образование которого происходило в процессе биогенного минералообразования в результате жизнедеятельности магнитотактических бактерий.

Ключевые слова: экскурс Блейк, грейгит, микулинское межледниковье, палеомагнетизм, люминесцентное датирование, верхний неоплейстоцен, Приневская низменность

DOI: 10.31857/S2686739724020029

ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных направлений в развитии современной четвертичной стратиграфии и геохронологии является установление запечатленных в горных породах кратковременных, но имеющих глобальное распространение климатических и геомагнитных событий, представляющих из себя основу наших сведений об эволюции магнитного поля Земли и палеогеографических обстановках ее относительно недавнего прошлого. Геомагнитные события планетарного масштаба, такие как инверсии и экскурсы, в рамках магнитостратиграфического изучения осадочных толщ используются в качестве

основных стратиграфических реперов и представляют собой перспективный инструмент для решения задач их высокоточного расчленения и стратиграфической корреляции. При этом успешное выполнение палеомагнитных исследований осадочных разрезов невозможно без применения комплекса методов четвертичной геохронологии, позволяющей максимально точно позиционировать геомагнитные события на шкале геологического времени, а также оценивать их продолжительность.

До настоящего времени петро- и палеомагнитное изучение осадочных разрезов квартала на территории Северо-Запада России охватывало только позднеледниковье и голоцен [1], а принципиально важная стратиграфическая граница — рубеж среднего–верхнего неоплейстоцена, а также микулинский межледниковый горизонт раньше не изучались. При этом вопросы установления возраста границ и хроностратиграфического объема микулинского (земского) межледниковья, а также продолжительности его региональных дробных подразделений, несмотря на широкое изучение разрезов микулинских отложений Русской плиты, до сих пор остаются

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, геологический факультет, Москва, Россия

²Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской Академии наук, Москва, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

⁴Всероссийский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: roman.veselovskiy@ya.ru

нерешенными [2]. В связи с этим получение непрерывной палеомагнитной записи из разрезов отложений микулинского межледниковья с высоким временным разрешением, а также выявление в ней стратиграфического положения и возраста экскурса геомагнитного поля Блейк, который приходится на начало позднего неоплейстоцена [3], является актуальной задачей в рамках детального хроностратиграфического расчленения верхнечетвертичных осадочных толщ на северо-западе Русской плиты.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОТБОР ОБРАЗЦОВ

Перспективным объектом для палеомагнитных и геохронологических исследований микулинских отложений в пределах Северо-Запада России может служить непрерывный и один из самых полных разрезов (~35 м) среднего–верхнего неоплейстоцена в карьере завода “Эталон”, расположенный у пос. им. Свердлова на правом берегу р. Невы, в центральной части Приневской низменности (Ленинградская область) (рис. 1). В основании разреза залегает

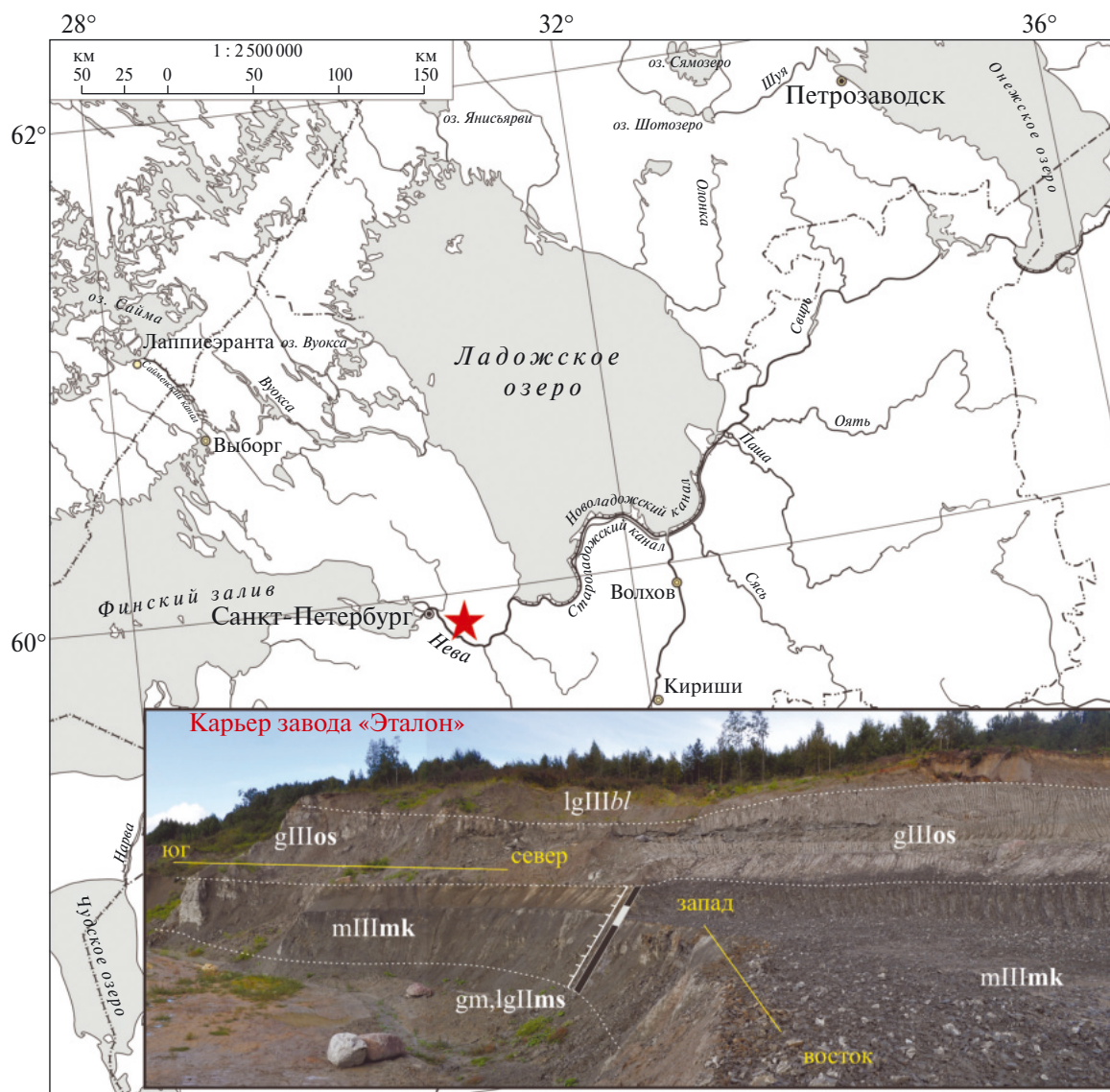


Рис. 1. Географическое положение объекта исследований (отмечено звездой) и общий вид опорного разреза в карьере завода “Эталон”. На фото показана колонка магнитной полярности для толщи микулинского мариния, полученная по результатам проведенных исследований: черный цвет – нормальная полярность, серый цвет – интервал низких наклонений, сопоставляемый с экскурсом Блейк. *Стратиграфо-генетические подразделения:* gm, lgIIms – гляциомариний, гляциолимний московский; mIIImk – мариний микулинский; lgIIIbl – глядиолимний Балтийского ледникового озера.

московский гляциомариний и гляциолимний (gm, lgIImms) видимой мощностью до 6.0 м, который согласно перекрыт отложениями мгинской морской межледниковой толщи микулинского горизонта (mIIImk). Мгинский мариний в разрезе представлен плотными глинистыми алевритами темно-серого и черного цвета мощностью 9.5–10.0 м, часто с тонкой горизонтальной, волнистой и линзовидной слоистостью, а также большим количеством рассеянного органического вещества и двумя горизонтами раковин двусторчатых моллюсков (рис. 2). Осташковский тилл (gIIlos) мощностью не более 8.0–10.0 м с резким несогласием перекрывает мгинский мариний либо же маломощную (до 1.5 м) толщу ниже–средневалдайского лимния (IIIvd_{1–2}), который линзовидно залегает на морских межледниковых отложениях и был вскрыт нами в одной из расчисток. Венчает разрез “Эталон” гляциолимний Балтийского ледникового озера (lgIPIbl), представленный ленточными глинами мощностью до 7 м.

Отбор образцов из мгинской морской толщи микулинского горизонта для их петро- и палеомагнитного изучения проводился в виде ориентированных штуфов с интервалом 2–5 см, образец для датирования отложений методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) был отобран на глубине 2.6 м (рис. 2).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Все петро- и палеомагнитные измерения выполнялись в Петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и Лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН (г. Москва) согласно стандартным методикам [4, 5] на оборудовании Центра коллективного пользования [6]. Для всей коллекции из 166 образцов было выполнено ступенчатое размагничивание переменным магнитным полем (AF-чистка) до 35–50 мТл с помощью приставки-демагнетайзера к криогенному магнитометру; часть образцов подверглась температурной магнитной чистке (Т-чистка) до 400°C в немагнитной печи MMTD-80 (“Magnetic Measurements”, Англия). Величина и направление остаточной намагниченности образцов измерялись на спин-магнитометре JR-6 (“AGICO”, Чехия) и криогенном (SQUID) магнитометре (2G Enterprises, США), компонентный анализ выполнялся в приложении PMTools [7]. Термомагнитные исследования образцов проводились на каппометре KLY-4S с термоприставкой CS-3

(“AGICO”, Чехия), весах Кюри конструкции Ю.К. Виноградова и вибромагнитометре PMC VSM Micromag 3900 (“LakeShore”, США).

Пробоподготовка и гамма-спектрометрические измерения для ОСЛ-датирования выполнены в лаборатории ОСЛ ФГБУ “ВСЕГЕИ” (Санкт-Петербург). Люминесцентные измерения производились в Кёльнской люминесцентной лаборатории (Кёльнский университет, Германия). Навески зерен калиевых полевых шпатов (КПШ) фракции 90–150 мкм были подготовлены для ОСЛ-датирования по стандартной методике [8]. Активности радионуклидов определялись на сверхнизкофоновом гамма-спектрометре с детектором на основе особо чистого германия Canberra BE3825 после герметизации образцов воском и выдержки в течение не менее 20 дней. Измерения ОСЛ в маленьких (1 мм) навесках зерен КПШ выполнялись на ТЛ/ОСЛ-ридере Risø с применением протокола pIRIR₂₂₅ [9]. Мощность дозы и возраст рассчитаны с использованием модифицированного калькулятора DRAC [10]. В полученный возраст введена поправка на аномальное затухание [11]; значение возраста приводится со стандартной погрешностью измерения (1σ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Естественная остаточная намагниченность (NRM) всех изученных образцов состоит преимущественно из одной, реже — двух компонент: высококоэрцитивной (20–50 мТл) (высокотемпературной, 250–400°C), которая, как правило, является характеристической (ChRM), и низкокоэрцитивной (низкотемпературной) вязкой компоненты, разрушающейся в поле до 5–15 мТл либо при температурах 100–160°C (рис. 2 а). Характеристическая компонента намагниченности, по результатам петромагнитных и микроскопических исследований, связана с биогенным грейгитом, сингенетическое образование которого происходило вследствие жизнедеятельности магнитотактических бактерий. Таким образом, синхронный или же практически синхронный с образованием осадка процесс формирования минерала-носителя характеристической компоненты намагниченности является доводом в пользу ее первичности [12]. Присутствие в морских отложениях грейгита, возникшего в ходе раннедиагенетических преобразований, фиксируется в средней части разреза и выражается в резком увеличении величины k_m и NRM, что, однако, не влияет на палеомагнитную запись (рис. 2 б); его образование и сохранение в отложениях связано с недостаточным для

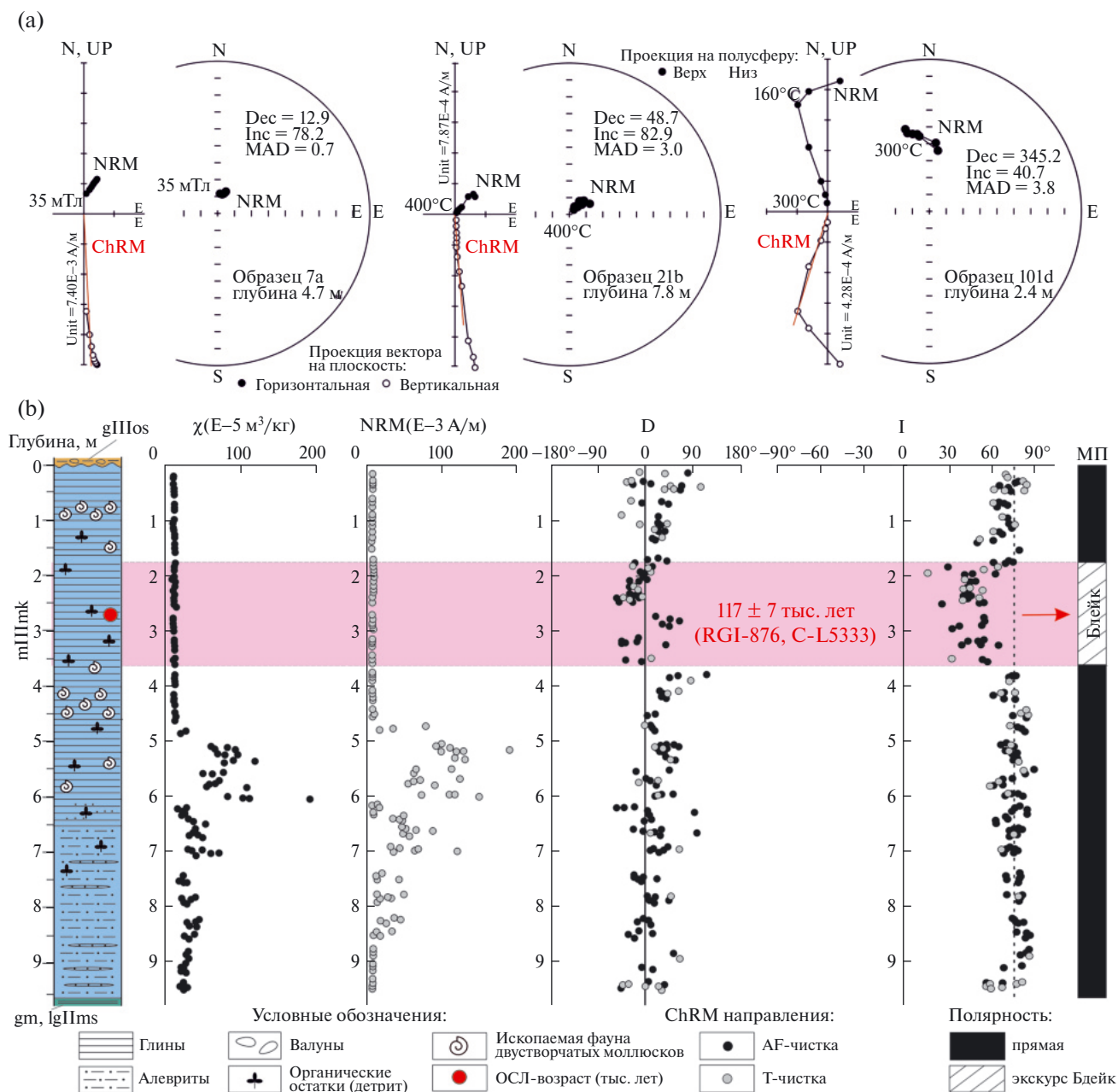


Рис. 2. Результаты магнитных чисток (а) и палеомагнетизм микулинской межледниковой толщи в разрезе “Эталон” (б): χ – магнитная восприимчивость, NRM – естественная остаточная намагниченность, D – склонение ChRM, I – наклонение ChRM, МП – магнитная полярность. Розовым цветом отмечен интервал разреза, соответствующий экскурсу Блейк; пунктиром показана величина наклонения центрального осевого диполя в районе исследования (73.5°).

завершения процесса диагенетической пиритизации количеством органического вещества [13].

По результатам компонентного анализа [14] образцы микулинского мариния несут характеристическую компоненту прямой полярности, при этом в верхней части разреза в интервале глубин 1.82–3.55 м четко выделяется зона,

характеризующаяся заниженными (от 20 до 55°) наклонениями (I). Средние значения I в данном интервале составляют $35\text{--}45^\circ$, в то время как для остальной части разреза величины наклонения варьируют преимущественно в пределах $75\text{--}85^\circ$ и близки к ожидаемому наклонению центрального осевого диполя для района

исследования (73.5°), рассчитанному по модели IGRF-13 (рис. 2 б). В связи с этим заниженные более чем на $40\text{--}45^\circ$ значения I на глубине 1.82–3.55 м (36 образцов) позволяют определять аномальное поведение виртуального геомагнитного полюса (VGP) в данном интервале в качестве экскурса [15] и, учитывая хроностратиграфическое положение микулинского межледникового горизонта, соответствуют экскурсу геомагнитного поля Блейк. Возраст, оцененный для отложений на глубине 2.6 м методом ОСЛ, составил 117 ± 7 тыс. лет (RGI-876, C–L5333).

Таким образом, возраст экскурса геомагнитного поля Блейк, выделенного в разрезе “Эталон” по заниженным наклонениям ChRM в верхней части мгинской морской толщи, составляет 117 ± 7 тыс. лет и достаточно хорошо согласуется с известными временными оценками экскурса (см., например, [16, 17]). Полученные данные позволяют использовать экскурс Блейк в качестве регионального стратиграфического репера для детального хроностратиграфического расчленения отложений микулинского горизонта, а также корреляции ключевых геомагнитных и палеоклиматических событий во время последнего межледникового. Результаты исследований определяют разрез “Эталон” как весьма перспективный объект для детального изучения тонкой структуры магнитного поля Земли в начале позднего неоплейстоцена.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Алексею Николаевичу Диденко за ценные замечания к рукописи статьи.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проведены в рамках темы НИР ИФЗ РАН № 122040600085-6 и на оборудовании ЦКП “Петрофизика, геомеханика и палеомагнетизм” ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахмутов В.Г., Евзеров В.Я., Колька В.В. Палеомагнетизм ленточных глин: седиментогенез и запись вековых вариаций // *Физика Земли*. 2009. № 7. С. 25–41.
2. 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 (на примере опорного разреза у д. Нижняя Боярщина, Смоленская область) // *Известия РАН. Серия Географическая*. 2022. Т. 86. № 3. С. 447–469.
3. Laj C., Channell J.E.T. Geomagnetic Excursions // *Treatise on Geophysics*. 2007. V. 5. P. 373–416. <https://doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00095-X>
4. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Писаревский С.А., Погарская И.А., Ржевский Ю.С., Родионов В.П., Слауцитайс И.П. Палеомагнетология. Л.: Недра. 1982. 312 с.
5. Tauxe L. Essentials of paleomagnetism. University of California Press. 2010.
6. Veselovskiy R.V., Dubinya N.V., Ponomarev A.V., Fokin I.V., Patonin A.V., Pasenko A.M., Fetisova A.M., Matveev M.A., Afinogenova N.A., Rud'ko D.V., Chistyakova A.V. Shared Research Facilities “Petrophysics, Geomechanics and Paleomagnetism” of the Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. V. 13 (2). 579. <https://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0579>
7. Ефремов И.В., Веселовский Р.В. PMTools: новое программное обеспечение для анализа палеомагнитных данных // *Физика Земли*. 2023. № 5. С. 150–158.
8. Wintle A.G. Luminescence dating: laboratory procedures and protocols // *Radiation Measurements*. 1997. V. 27 (5–6). P. 769–817. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(97\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(97)00220-5)
9. Buylaert J.-P., Murray A.S., Thomsen K.J., Jain M. Testing the potential of an elevated temperature IRSL signal from K-feldspar // *Radiation Measurements*. 2009. V. 44 (5). P. 560–565. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2009.02.007>
10. Durcan J.A., King G.E., Duller G.A.T. DRAC: Dose Rate and Age Calculator for trapped charge dating // *Quaternary Geochronology*. 2015. V. 28. P. 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2015.03.012>
11. Huntley D.J., Lamothe M. Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2001. V. 38 (7). P. 1093–1106. <https://doi.org/10.1139/e01-013>
12. Chang L., Vasiliev I., Baak van C., Krijgsman W., Dekkers M.J., Roberts A.P., Fitz Gerald J.D., Hoesel van A., Winkhofer M. Identification and environmental interpretation of diagenetic and biogenic greigite in sediments: A lesson from the Messinian Black Sea // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2014. V. 15 (9). P. 3612–3627. <https://doi.org/10.1002/2014GC005411>
13. Большаков В.А., Долотов А.В. Магнитные свойства грейгита из отложений позднего неоплей-

- стоцена Северного Каспия // Физика Земли. 2012. № 6. С. 56–73.
14. *Kirschvink J.L.* The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data // *Geophysical Journal International*. 1980. V. 62 (3), P. 699–718. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x>
 15. *Merrill R.T., McFadden P.L.* Geomagnetic field stability: Reversal events and excursions // *Earth and Planetary Science Letters*. 1994. V. 121. P. 57–69.
 16. *Osete M.-L., Javier M.-C., Rossi C., Edwards L., Egli R., Munoz-Garcia M.B., Wang X., Pavon-Carrasco J., Heller F.* The Blake geomagnetic excursion recorded in a radiometrically dated speleothem // *Earth and Planetary Science Letters*. 2012. V. 353–354, P. 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.07.041>
 17. *Zhu R.X., Zhou L.P., Laj C., Mazaud A., Ding Z.L.* The Blake geomagnetic polarity episode recorded in Chinese loess // *Geophysical Research Letters*. 1994. V. 21 (8). P. 697–700. <https://doi.org/10.1029/94GL00532>

THE BLAKE GEOMAGNETIC EXCURSION RECORDED IN THE MIKULINO INTERGLACIAL SEDIMENTS OF THE NEVA LOWLAND

V. I. Dudanova^{a, b}, R. V. Veselovskiy^{a, b, #}, M. V. Ruchkin^{c, d}, M. V. Sheetov^d

^a*Lomonosov Moscow State University, Geological faculty, Moscow, Russian Federation*

^b*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Russian Federation*

^c*Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation*

^d*Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: roman.veselovskiy@ya.ru*

We present the first results of a detailed rock magnetic and paleomagnetic research of the Mga marine interglacial sediments of the Mikulino (Eemian) Interglacial (the Upper Pleistocene) in the Etalon section (former Sverdlov Factory, Leningrad Region). The Blake geomagnetic excursion was determined in the upper part of the Mga formation according to a shallow inclination of the characteristic remanent magnetization (ChRM) component. Age of the Blake excursion was obtained as 117 ± 7 ka applying optically stimulated luminescence (OSL) dating. The results obtained are in good agreement with other Blake Event records. The ChRM in the Mga sediments is related to syngenetically formed biogenic greigite produced by magnetotactic bacteria.

Keywords: Blake excursion, greigite, Mikulino Interglacial, paleomagnetism, luminescence dating, Upper Pleistocene, Neva Lowland