

УДК 550.383

СООТВЕТСТВИЕ ГОРИЗОНТОВ ОТЛОЖЕНИЙ, ОБОГАЩЕННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛЬЮ, ЭКСКУРСАМ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

© 2023 г. А. Ю. Куражковский¹, *, В. А. Цельмович¹, **, Н. А. Куражковская¹, ***

¹Геофизическая обсерватория “Борок” — филиал Института физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН (ГО “Борок” ИФЗ РАН), пос. Борок (Ярославская обл.), Россия

*e-mail: ksasha@borok.yar.ru

**e-mail: tselm@mail.ru

***e-mail: knady@borok.yar.ru

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.

После доработки 23.05.2023 г.

Принята к публикации 03.08.2023 г.

Исследована связь между всплесковыми возрастаниями потоков пылевого космического вещества на земную поверхность (в основном представленного частицами самородных металлов) и поведением полярности главного геомагнитного поля. С этой целью проведен поиск горизонтов древних отложений с высокой концентрацией пылевого космического материала (превышающей фоновую концентрацию более чем на порядок). Такие повышенные концентрации пылевых космических частиц были обнаружены в отложениях торфа, соответствующих экскурсу Этрессия (2.5–3 тыс. лет назад), а также в древних морских отложениях мела и палеогена. Всего нами обнаружено 5 горизонтов с высокой концентрацией пылевого космического материала. Их мощности составляли до 1 м. Измерение палео- и петромагнитных параметров образцов, отобранных по мощности осадочных толщ, показало, что начало накопления этих горизонтов совпало с экскурсами геомагнитного поля. При этом процесс обогащения отложений пылевыми частицами мог продолжаться несколько дольше, чем длился экскурс геомагнитного поля. Получено свидетельство того, что столкновения Земли с плотными потоками космической пыли могли совпадать с кратковременными нарушениями полярности геомагнитного поля, но не оказывали продолжительного влияния на работу геодинамо.

DOI: 10.31857/S001679402360045X, EDN: QBXKWB

1. ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о том, присущи ли инверсии геомагнитного поля механизму геодинамо или они могут происходить также в результате нарушения его работы под воздействием внешних сил [Храмов и др., 1982; Храмов, 2007], остается не решенным. К внешним геофизическим факторам, способным приводить к геомагнитным инверсиям, обычно относят процессы, предположительно связанные с изменениями интенсивности теплообмена между ядром и мантией, а также скорости осевого вращения Земли [Петрова и др., 2000]. Так, было показано, что в динамике изменений частоты геомагнитных инверсий и фаз складчатости [Храмов и др., 1982; Милановский, 1996; Трифонов и Соколов, 2018], уровня мирового океана [Храмов и др., 1982; Милановский, 1996], активности магнетизма [Добрецов и др., 2021] имеются близкие квазипериодичности. В ходе таких исследований сопоставлялись процессы с характерными временами десятки и сотни млн лет, что

не позволяло делать заключения о соответствии отдельных геофизических событий отдельным геомагнитным инверсиям. При исследованиях непродолжительных интервалов геологического времени в ряде случаев обнаруживалось хорошее совпадение между геомагнитными инверсиями и изменениями литологического состава древних отложений. Например, такое совпадение инверсий и экскурсов геомагнитного поля с изменениями литологического состава морских осадков было обнаружено в ходе исследования отложений позднего плиоцена (3.6–1.8 млн лет) палео–Каспия [Трубихин, 1977]. Этим подтверждается возможность связи эвстатических колебаний (и как их следствие, изменений скорости вращения Земли) со сменами геомагнитной полярности. Однако в более позднее время в плейстоцене (последние 1.8 млн лет) [Gradstein et al., 2008] количество геомагнитных экскурсов и циклов трансгрессии — регрессии мирового океана существенно различались. Из этого следует, что кроме вариаций скорости осевого вращения Земли существуют другие,

не менее значимые факторы, способные приводить к геомагнитным инверсиям.

Согласно моделям геодинамо, генерация геомагнитного поля — это многофакторный процесс [Соколов, 2004]. Более того, изменения геомагнитного поля, происходящие внутри жидкого ядра и на поверхности Земли, могут слабо коррелировать между собой [Решетняк, 2015]. Таким образом, из моделей геодинамо следует, что форма связи между литосферными и геомагнитными процессами может быть достаточно сложной. Тем не менее, исследование связи между поведением геомагнитного поля и процессами на земной поверхности продолжает оставаться единственным и далеко не исчерпанным экспериментальным методом изучения влияния внешних факторов на генерацию геомагнитного поля. Одним из таких факторов (причем наименее изученных), является взаимодействие Земли с плотными потоками космической пыли.

В данной работе предпринята попытка поиска горизонтов древних отложений, обогащенных пылевым космическим веществом, и проведено их сопоставление с нарушениями полярности геомагнитного поля.

2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА

На данный момент нет систематизированных данных о динамике поступления пылевого космического вещества на земную поверхность. Поиск временных интервалов, в ходе которых происходили значительные повышения плотности потоков пылевого космического вещества, проводился нами на основе определения количества его частиц в образцах из горизонтов торфяных толщ и алевроито-глинистых древних морских отложений. Образцы торфяных отложений, отобранные на территории Кемеровской области (болото Тундра, 54°78.649' N; 88°27.233' E), были предоставлены нам сотрудниками Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН). Образцы торфа, отобранные в Ярославской области (Шалимовское болото, 57°45.145' N; 38°35.390' E), предоставили сотрудники Института биологии внутренних вод (ИБВВ РАН). Максимальный возраст образцов, определенный радиоуглеродным методом, не превышал 5000 лет. Исследованная мощность торфяных толщ составляла 2 м и 2.2 м соответственно. Подробности и способ отбора образцов по мощности торфяных толщ несколько различались. В болоте Тундра образцы отбирались из вертикального обнажения. При их отборе практически исключалось смешивание материала, принадлежащего соседним горизонтам. В Шалимовском болоте образцы отбирались пробоотборником, при этом могло происходить некоторое смешивание материала из соседних го-

ризонтов. Интервалы между исследуемыми горизонтами торфа составляли 2–5 см.

Для исследования образцы торфа измельчались, помещались в кубические пластиковые контейнеры с ребром 2 см, и затем у них измерялись значения остаточной намагниченности насыщения — J_{rs} . Затем проводилась магнитная и плотностная сепарация минеральных частиц. С помощью микроанализатора “Тескан Вега 2” определялся минералогический состав этих частиц, и делалось заключение об их генезисе.

Образцы древних морских отложений мела-палеогена (предоставленные нам сотрудниками Саратовского Государственного Университета) отбирались в осадочных толщах, вскрытых в береговых обнажениях р. Волга в разрезах Можжевеловый овраг (50°43.001' N; 45°38.408' E) и гора Сырт (50°42'34" N; 45°38'53" E) Саратовской области. В работах [Гужиков и др., 2017; Шелепов и Гужиков, 2022] показаны результаты их комплексных био- и магнитостратиграфических исследований. Согласно этим данным, отложения мела (Можжевеловый овраг — гора Сырт) принадлежат кампанскому и маастрихтскому ярусам [Гужиков и др., 2017]. Отложения палеогена принадлежат датскому ярусу (гора Сырт) [Шелепов и Гужиков, 2022]. Мощность отложений верхнего мела и нижнего палеогена составляли 60 м и 10 м соответственно. При исследовании верхне-меловой толщи образцы отобраны с 95 горизонтов (через 60–70 см). Поиски горизонтов, обогащенных пылевым космическим материалом, осуществлялись в относительно однородных слоях отложений алевроито-глинистого состава. В этих слоях отсутствовали явные следы перерывов осадконакопления. Кроме того, нами были более подробно отобраны нижне-палеогеновые отложения, которые исследованы в работе [Шелепов и Гужиков, 2022]. При этом интервалы между исследуемыми горизонтами составляли 20 см. Поскольку отбор образцов осуществлялся от подошвы осадочной толщи к ее кровле, относительный возраст образцов изменялся в соответствии с их мощностью. По образцам морских отложений, определялись параметры J_{rs} и R_{ns} ($R_{ns} = J_n/J_{rs}$, где J_n — величина естественной остаточной намагниченности образцов после термической чистки до 250 градусов). Поведение палеонапряженности идентифицировалось с изменением параметра R_{ns} .

Для микроминералогических исследований древних морских отложений использовались образцы отложений (объемом 2 см³). Так же, как при работе с торфом, исследуемые образцы измельчались в агатовой ступке, а затем с помощью магнита из них экстрагировались частицы, обладающие остаточной намагниченностью.

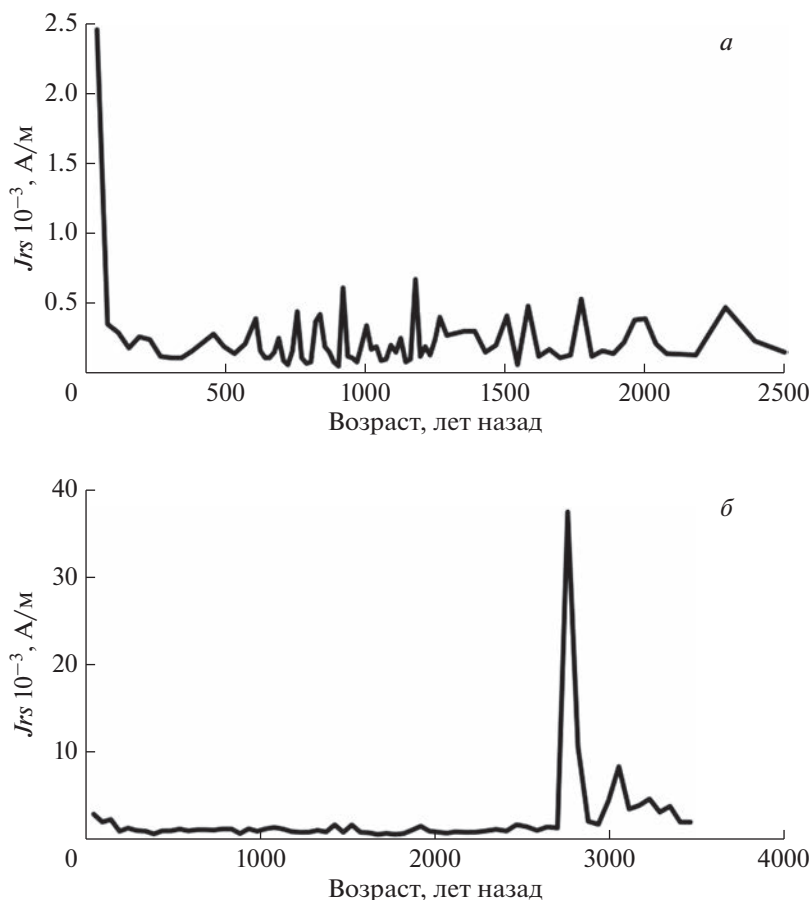


Рис. 1. Изменения параметра Jrs по мощности торфяных толщ болот (а) — Тундра и (б) — Шалимовского болота.

Из опыта палеомагнитных исследований [Храмов и др., 1982] известно, что остаточная намагниченность терригенных отложений определяется наличием частиц ильменитов, титаномагнетитов, а также гидроокислов и сульфидов железа. Образование частиц самородных металлов в отложениях торфа и эпиконтинентальных морей маловероятно. В связи с этим предполагается, что в осадочных породах высокая концентрация частиц самородных металлов железа Fe , никеля Ni , цинка Zn , а также их сплавов, например, камаситов, имеет, в основном, космическое происхождение [Грачев, 2010]. Согласно расчетам [Марков и Печерский, 2019], при современной интенсивности поступления космической пыли на земную поверхность, в каждом образце отложений (объемом 8 см^3), в среднем, должна содержаться 1 частица космического железа. Другие металлы встречаются реже, чем железо. Мы различали две градации количества космогенных частиц в исследуемых отложениях: фоновое и всплесковое. В соответствии с работой [Марков и Печерский, 2019], при обнаружении в образце до 5 частиц самородных металлов, мы полагали, что это количество соответствует фоновому поступлению космиче-

ской пыли. Если количество обнаруженных частиц превышало 30, мы предполагали, что такое количество частиц самородных металлов в одном образце связано с экстраординарным космическим событием.

3. ВАРИАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ПЫЛЕВОГО КОСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА, ПОСТУПАЮЩЕГО НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

В ходе исследования подробно отобранных торфяных отложений болота Тундра (рис. 1а) было обнаружено, что величина Jrs образцов торфа циклически изменялась. Характерные времена этих циклов составляли порядка 100 лет. При менее подробном отборе образцов (Шалимовское болото) кривая (рис. 1б), характеризующая изменения Jrs , получалась сглаженной. Средние значения Jrs этих кривых различались незначительно и составляли соответственно 0.24 и 0.22 А/м. Повышенные значения Jrs образцов из верхних горизонтов торфа могут быть связаны с современным техногенным загрязнением. Величина Jrs образцов из горизонтов торфа, сформировав-

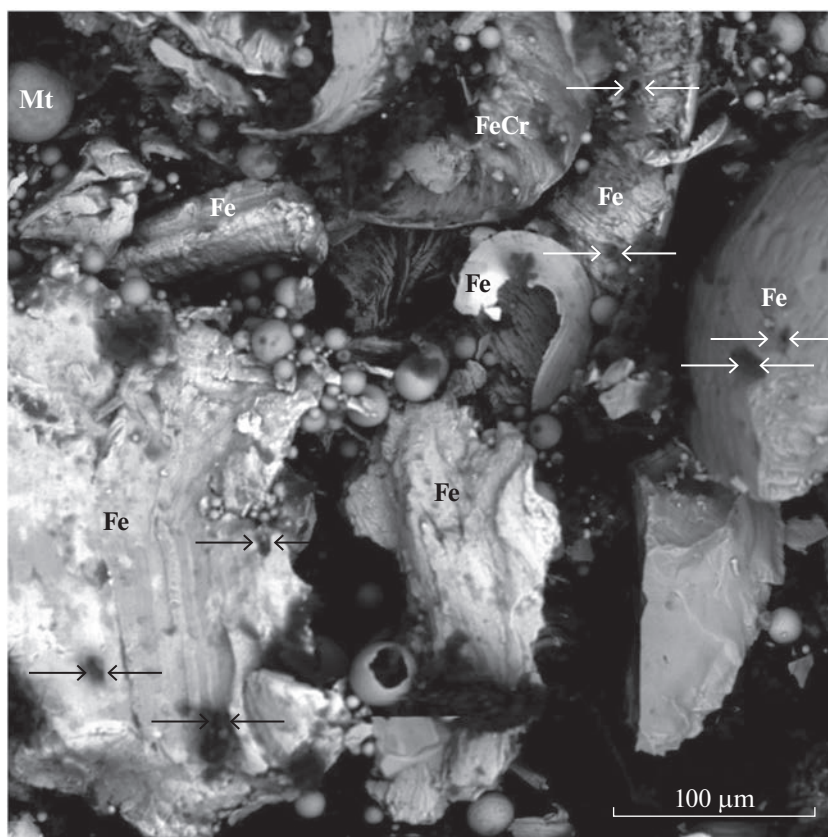


Рис. 2. Частицы космической пыли, экстрагированные из отложений торфа.

шихся в доиндустриальное время, в основном, определялась наличием пылевого космического материала. В связи с этим, изменения величины *Jrs* отражали изменения количества космогенного материала по мощности торфяных толщ. Из сравнения кривых на рис. 1а и рис. 1б видно, что подробность и способ отбора образцов влияют на возможность обнаружения “короткопериодических” вариаций поступления космической пыли на земную поверхность. Так, на кривой (рис. 1б) в отличие от кривой (рис. 1а) обнаруживаются только наиболее значимые вариации *Jrs*.

На рис. 2 показан пример пылевых частиц (носителей остаточной намагниченности), экстрагированных из образцов торфа. Из него видно, что основным носителем намагниченности в образцах торфа являются частицы железа и магнетитовые шарики. На этом рисунке стрелками указаны отверстия, возникшие в результате их столкновения с высокоэнергичными частицами. Кроме частиц железа в образцах торфа могли встречаться частицы *Sn*, *Zn*, *CuZn*, *FeCrNi*, *FeNi*, которые, по нашему мнению, оказывали относительно слабое влияние на вариации величины *Jrs* (по сравнению с частицами *Fe*). Мы не обнаружили явных различий между минеральным составом частиц, экстрагированных из торфа, отобранного в Кеме-

ровской и Ярославской областях. При этом составить суждение о вариациях количества частиц, обладающих остаточной намагниченностью в различных горизонтах торфа, позволяют вариации значений *Jrs* (рис. 1).

Из археомагнитных данных, например, [Петрова и др., 2000; Поспелова, 2002], известно, что в интервале 2.5–3 тыс. лет назад имел место экскурс геомагнитного поля (экскурс Этруссия). Как видно из результатов измерений *Jrs*, представленных на рис. 1б, в это время произошло значительное (многократное) возрастание поступления пылевых космических частиц на земную поверхность. Ранее в работе [Песков и др., 2020], было обнаружено возрастание количества пылевых космических частиц в горизонтах торфа, которые формировались 5–6 тыс. лет назад (во время экскурса Соловки). Таким образом, исследование торфяных отложений (проведенное нами) и в работе [Песков и др., 2020] показало, что экскурсии геомагнитного поля могут быть связаны (по крайней мере, корреляционно) с многократными (экстраординарными) возрастаниями плотности потоков космической пыли на земную поверхность. При этом вариации изменения плотности потоков космической пыли, имевшие место в последние 2.5 тыс. лет (кривая на рис. 1а), не оказывали

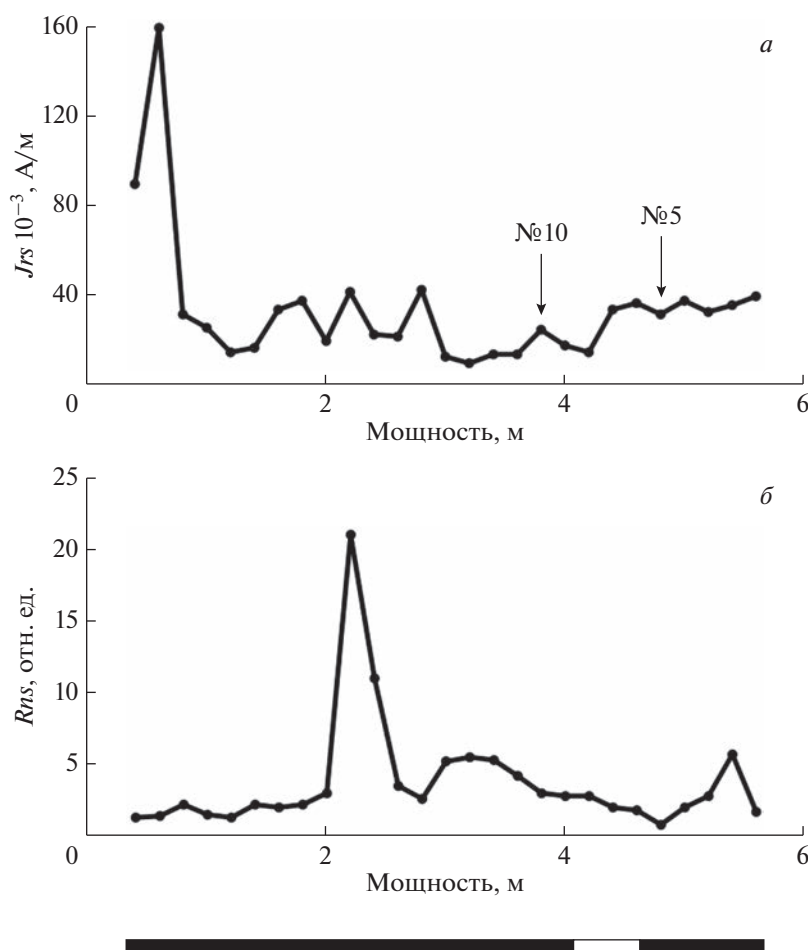


Рис. 3. Изменения J_{rs} по мощности отложений нижнего палеогена (а) и палеонапряженности R_{ms} (б) по мощности осадочной толщи. Внизу черным цветом обозначена прямая полярность, белым цветом — обратная полярность геомагнитного поля.

значимого влияния на поведение главного геомагнитного поля.

4. ЧАСТИЦЫ САМОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ДРЕВНИХ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ (НИЖНЕГО ПАЛЕОГЕНА И ВЕРХНЕГО МЕЛА)

Подробный отбор образцов по мощности толщи ниже-палеогеновых отложений позволил обнаружить соответствие между поведением геомагнитной полярности и поступлением частиц космической пыли на земную поверхность. На рис. 3 приведены результаты определения J_{rs} , изменений геомагнитной полярности и параметра R_{ms} по отложениям нижнего палеогена. Поскольку между поведением J_{rs} и полярностью геомагнитного поля нет явной связи (рис. 3а), составить суждение о количестве пылевых космических частиц в образцах отложений позволяют результаты микроминералогических исследований. Высокая концентрация частиц самородных ме-

таллов (космической пыли) обнаружена в слое отложений мощностью порядка 1 м в горизонтах № 5–10. В остальных горизонтах количество частиц самородных металлов не превышало фоновое значение. Как видно из рис. 3а, начало образования горизонтов, обогащенных пылевым космическим веществом (горизонт № 5), совпало с началом экскурса геомагнитного поля. При этом обогащение отложений частицами самородных металлов продолжалось дольше (до горизонта № 10), чем длился экскурс геомагнитного поля. В образцах из горизонтов № 5–10 в каждом исследованном образце обнаруживалось не менее 30 частиц самородных металлов. В образцах остальных горизонтов таких частиц обнаруживалось не более 5. Исходя из результатов микроминералогических исследований, мы считаем, что накопление горизонтов № 5–10 происходило при всплесковом поступлении космической пыли на земную поверхность. Интенсивность поступления космической пыли в ходе накопления горизонтов № 1–4 и 11–27 не превышала фоновое

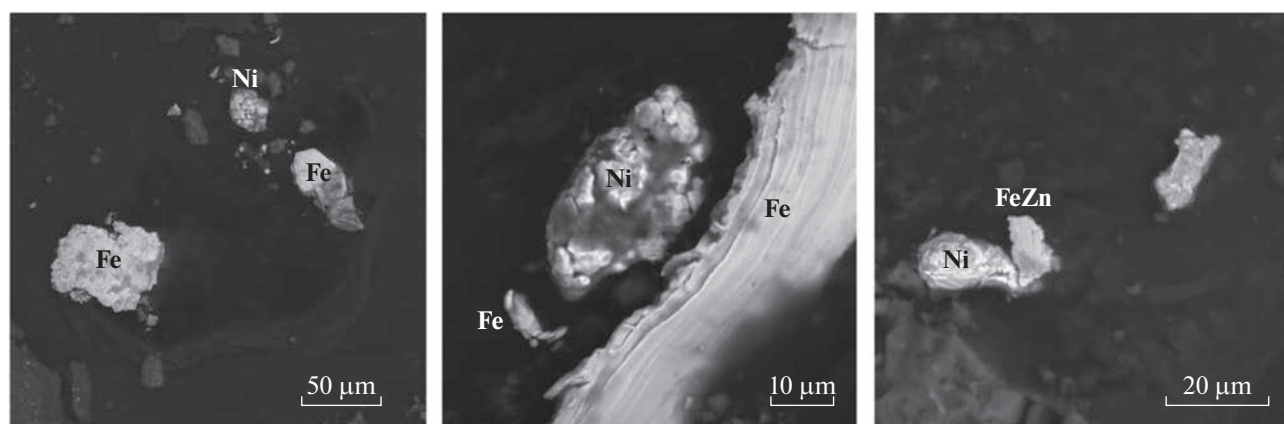


Рис. 4. Наиболее часто встречаемые частицы космической пыли из отложений верхнего мела—нижнего палеогена.

значение. Основным носителем намагниченности в этих отложениях были терригенные минералы. Всплеск параметра *Jrs* верхних горизонтов отложений исследуемой толщи связан не с повышением количества частиц космической пыли, а с особенностями распределения терригенного материала (рис. 3а). Измерение параметра *Rns* (рис. 3б) позволяет проследить последовательность изменений палеонапряженности, геомагнитной полярности и количества частиц самородных металлов. Так, максимальное падение палеонапряженности и возрастание количества частиц самородных металлов несколько опережало смену полярности геомагнитного поля (рис. 3). Затем начался рост палеонапряженности, далее произошло восстановление геомагнитной полярности и снижение поступления частиц самородных металлов на земную поверхность.

На рис. 4 показаны частицы космогенной пылевой компоненты, наиболее часто встречающиеся в верхне-меловых и нижне-палеогеновых отложениях. Как видно из рис. 4, в этих отложениях достаточно часто встречаются частицы никеля *Ni*. Количество частиц *Ni* примерно совпадает с количеством частиц *Fe*. Наличие относительно большого количества частиц *Ni* в нижне-палеогеновых отложениях является их главным отличием от минералогического состава космической пыли в торфяных отложениях голоцена (рис. 2).

Для стандартных магнитостратиграфических исследований высокая детальность определений поведения геомагнитного поля не требуется. Интервалы между исследуемыми горизонтами отложений кампана — маастрихта, образцы которых были предоставлены сотрудниками Саратовского Государственного Университета, составляли 1.0—0.5 м. Мы предприняли попытку обнаружить горизонты, обогащенные пылевым космическим материалом по этим образцам. В осадочной толще, мощностью 63 м, описание которой, приве-

дено в [Гужиков и др., 2017], нами было обнаружено три горизонта с повышенной концентрацией частиц космической пыли, которые совпали с нарушениями полярности геомагнитного поля [Гужиков и др., 2017]. В работе [Гужиков и др., 2017] в ходе исследования отложений в разрезе (Можжевеловый овраг — гора Сырт) обнаружено 4 кратковременных нарушения геомагнитной полярности. Кроме того, имелись горизонты отложений, в ходе исследования которых полярность геомагнитного поля установить не удалось. Таким образом, исследования морских отложений подтверждают предположение о том, что значительные повышения плотности потоков космической пыли совпадали с экскурсами геомагнитного поля. При этом повышения концентрации космической пыли, поступающей на земную поверхность, не являлись единственной причиной нарушений геомагнитной полярности.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный нами поиск горизонтов древних отложений, обогащенных космическим пылевым материалом, показал, что их образование является относительно редким событием. Так, в 63-ти метровой толще верхне-меловых отложений только в трех горизонтах обнаружены значительные повышения количества космических частиц. Весьма вероятно, что подробность отбора образцов и особенности накопления отложений не позволили обнаружить все нарушения геомагнитной полярности и всплески поступления на Землю пылевых космических частиц. Из имеющихся материалов следует, что повышения потоков космической пыли, поступающей на земную поверхность, не были единственной причиной нарушений полярности (экскурсов) геомагнитного поля. Тем не менее, все обнаруженные нами экстраординарные повышения поступления пылевого космического вещества на земную поверхность сопровождалась

нарушениями геомагнитной полярности. Значение таких космогенных событий в поведении полярности геомагнитного поля до последнего времени не исследовалось. Во всех случаях эти нарушения геомагнитной полярности были кратковременными по сравнению с длительностями полярных интервалов, которые представлены в магнитохронологических шкалах. Как следует из шкалы геомагнитной полярности [Gradstein et al., 2008], средняя продолжительность полярных интервалов вблизи границы мел–палеоген (поздний кампан–танет) составляла около 1 млн лет. Характерные времена нарушений геомагнитной полярности, происходившие при столкновениях Земли с потоками пылевого космического вещества, по нашим оценкам, составляли от сотен лет (в голоцене) до нескольких десятков тысяч лет (в конце мела–начале палеогена). Таким образом, продолжительность обнаруженных нами экскурсов геомагнитного поля была значительно меньше, чем характерные времена процессов в ядре, которые определяли длительности интервалов геомагнитной полярности.

Механизм влияния плотных потоков космической пыли на поведение геомагнитной полярности пока не известен. Как видно из рис. 1, во время экскурса Этруссия количество пылевого вещества, поступающего на земную поверхность, возросло не менее чем на порядок. Вероятно, что взаимодействие с потоком космической пыли могло повлиять как на угловую скорость вращения планеты, так и на распределение потенциалов и токов в глобальной электрической цепи [Костров, 2019]. Известно, что наиболее значимым импактным событием (конца мезозоя–кайнозоя), которое повлияло на ход биосферных и геологических процессов, было падение метеорита в районе полуострова Юкатан. Согласно стратиграфическим данным [Gradstein et al., 2008], это событие произошло в середине хрона C29г и не сопровождалось синхронным изменением геомагнитной полярности. Таким образом, механическое воздействие со стороны одного из крупнейших метеоритов не повлияло на существующую (на тот момент) полярность геомагнитного поля. В отложениях, принадлежащих границе мел–палеоген, в ряде случаев обнаруживается горизонт мощностью порядка нескольких миллиметров, который обогащен пылевым космическим материалом. Его образование обычно связывают с падением Юкатанского метеорита [Грачев, 2010]. Следует отметить, что подобный горизонт (мощностью несколько миллиметров) ранее был обнаружен в верхней части толщи отложений маастрихта [Гужиков и др., 2017], исследуемых в настоящей работе. Мощности обнаруженных нами горизонтов отложений, обогащенных космической пылью, составляли не менее десятков сантиметров. Таким образом, в ходе образования выделенных на-

ми горизонтов отложений количество пылевого космического материала, поступающего на земную поверхность, значительно превышало его количество, которое обычно связывают с падением крупного метеорита.

Согласно результатам современных наблюдений, предполагается, что магнитосферные процессы не оказывают значимого влияния на поведение главного геомагнитного поля, например, [Добрецов и др., 2021]. Как показали наши исследования, в геологическом прошлом воздействия на магнитное и электрическое поле Земли со стороны пылевой материи могли более чем на порядок превышать их воздействия, обнаруживаемые за время геофизических наблюдений. Согласно результатам работы [Костров, 2019], поведение параметров глобальной электрической цепи определяется поступлением пылевого космического вещества в магнитосферу и далее на земную поверхность. В результате нашего исследования появились фактические данные, подтверждающие предположение о том, что взаимодействие с плотными потоками пылевого космического вещества может быть одной из причин кратковременных нарушений полярности геомагнитного поля.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании древних морских и торфяных отложений нами обнаружены свидетельства всплесковых повышений поступления пылевого космического вещества на земную поверхность. При этом плотность потоков космической пыли, поступающей на земную поверхность, возрастала более чем на порядок по сравнению с фоновыми значениями. Во всех случаях всплесковые повышения потоков космической пыли на земную поверхность совпадали с экскурсами геомагнитного поля.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН (ИМКЭС СО РАН) Т.А. Бляхарчук, Института биологии внутренних вод РАН (ИБВВ РАН) Э.В. Гарину за предоставление образцов торфа и сотрудникам Саратовского Национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского А.А. Гужиковой, А.Ю. Гужикову, В.А. Фомину за предоставленные коллекции образцов и результаты определений их петромагнитных параметров.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках Геофизической обсерватории Борок ИФЗ РАН, Государственное задание

FMWU-2022-0027 и Государственное задание FMWU-2022-0026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Грачев А.Ф.* К вопросу о природе космической пыли в осадочных породах // *Физика Земли*. № 11. С. 3–13. 2010.
- *Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю., Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Копаевич Л.Ф., Первушов Е.М., Гужикова А.А.* Новые био- и магнитостратиграфические данные по кампанским–маастрихтским отложениям классического разреза Нижняя Банновка (юг Саратовского Правобережья) // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. Т. 25. № 1. С. 24–61. 2017.
- *Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Василевский А.Н.* Характерные свойства магнитного и гравитационного полей Земли взаимосвязанные с глобальной и региональной тектоникой // *Геология и геофизика*. Т. 62. № 1. С. 10–30. 2021.
<https://doi.org/10.15372/GiG2020181>
- *Костров А.В.* // *Успехи прикладной физики*. Т. 7. № 4. С. 327–338. 2019.
- *Марков Г.П., Печерский Д.М.* Вездесущее железо. М.: ГЕОС, 128 с. 2019.
- *Милановский Е.Е.* О корреляции фаз учащения инверсий геомагнитного поля, понижений уровня мирового океана и фаз усиления деформаций сжатия земной коры в мезозое и кайнозое // *Геотектоника*. № 1. С. 3–11. 1996.
- *Песков А.Ю., Крутикова В.О., Захарченко Е.Н., Чаков В.В., Климин М.А., Каретников А.С., Диденко А.Н.* Геохимия и магнетизм торфяников междуречья рек Хор и Кия Сихоте–Алинь (предварительные данные) // *Тихоокеанская геология*. Т. 39. № 2. С. 79–89. 2020.
<https://doi.org/10.30911/0207-4028-2020-39-2-79-89>
- *Петрова Г.Н., Печерский Д.М., Храмов А.Н.* Палеомагнитология наука, созданная в XX веке // *Физика Земли*. № 9. С. 80–102. 2000.
- *Поспелова Г.А.* О геомагнитных экскурсах // *Физика Земли*. № 5. С. 30–41. 2002.
- *Решетняк М.Ю.* Пространственные спектры геомагнитного поля в наблюдениях и моделях геодинамо // *Физика земли*. № 3. С. 39–46. 2015.
<https://doi.org/10.7868/S0002333715030126>
- *Соколов Д.Д.* Геодинамо и модели генерации геомагнитного поля // *Геомагнетизм и аэрономия*. Т. 44. № 5. С. 5791–589. 2004.
- *Трифонов В.Г., Соколов С.Ю.* Тектонические явления мезозоя и кайнозоя и геодинамические процессы их определяющие // *Геотектоника*. № 5. С. 75–89. 2018.
<https://doi.org/10.1134/S0016853X18050077>
- *Трубихин В.М.* Палеомагнетизм и стратиграфия ачкагыльских отложений Западной Туркмении. М.: Наука, 77 с. 1977.
- *Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Писаревский С.А., Погарская И.А., Ржевский Ю.С., Родионов В.П., Слауцитайс И.А.* Палеомагнитология / Ред. А.Н. Храмов. Л.: Недра, 312 с. 1982.
- *Храмов А.Н.* Геомагнитные инверсии в палеозое: переходное поле, полярная асимметрия и мантийная конвекция // *Физика Земли*. № 10. С. 4–14. 2007.
- *Шелепов Д.А., Гужиков А.Ю.* Результаты рекогносцировочных магнитостратиграфических исследований палеоцена в южной части Саратовского Правобережья // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле*. Т. 22. Вып. 2. С. 117–131. 2022.
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-2-117-131>
- *Gradstein F.M., Ogg G.J., van Kranendonk M.* On the geologic time scale 2008 // *News letters on stratigraphy*. V. 43/1. P. 5–13. 2008.
<https://doi.org/10.1127/0078-0421/2008/0043-0005>