

УДК 550.384:553.97(571.6)

## ТОРФЯНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК НОВЫЙ ИСТОЧНИК ПАЛЕОМАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В ГОЛОЦЕНЕ НА ПРИМЕРЕ ЭКСКУРСА “ЭТРУССИЯ”

© 2023 г. А. Ю. Песков<sup>1,\*</sup>, член-корреспондент РАН А. Н. Диденко<sup>1,2</sup>, А. С. Каретников<sup>1</sup>,  
М. А. Климин<sup>3</sup>, М. В. Архипов<sup>1</sup>, Н. В. Кожемяко<sup>1</sup>, А. И. Тихомирова<sup>1</sup>

Поступило 28.03.2023 г.

После доработки 27.04.2023 г.

Принято к публикации 12.05.2023 г.

Представлены результаты микрозондовых, петро- и палеомагнитных исследований торфяного разреза “Тяпка” (Хабаровский край) до рубежа 4 тыс. лет назад. В результате проведенной магнитной чистки переменным магнитным полем в торфяниках выявлен горизонт 57–109 см (1833–3083 кал.л.н.) с отрицательными значениями наклонения вектора намагниченности, который соответствует экскурсу геомагнитного поля “Этрussia”. Впервые по торфяным отложениям рассчитаны значения относительной палеонапряженности, которые согласуются с литературными археомагнитными данными, полученными по западной части Евразии. В результате исследований установлено, что экскурс “Этрussia” происходил на фоне повышенных значений напряженности магнитного поля Земли, а его продолжительность составляла ~1200 лет.

**Ключевые слова:** палеомагнетизм, торф, экскурс геомагнитного поля, относительная палеонапряженность, Приамурье

**DOI:** 10.31857/S2686739723600583, **EDN:** PCSIQG

### ВВЕДЕНИЕ

Три года назад при геохимическом и петромагнитном изучении торфяного разреза “Кия”, расположенного в Хабаровском крае в междуречье рек Хор и Кия (47.81° с.ш., 135.66° в.д.), на предмет обнаружения частиц космического происхождения нами было зарегистрировано немонотонное поведение по профилю торфяного разреза палеомагнитного наклонения и амплитуды вековых вариаций геомагнитного поля, причем возраст “аномальной” зоны приходился на интервал ~3–1.5 тысяч лет назад [6]. Ранее в этом временном интервале при изучении как континентальных, так и морских осадков был открыт геомагнитный экскурс “Этрussia”, в англоязычной литературе именуемый также как “Sterno-Etrussia” [14, 16].

Геомагнитные экскурсии являются одним из важнейших элементов тонкой структуры магнитного поля Земли и представляют собой резкие колебания направления геомагнитного поля в виде импульсных выбросов, которые сменяются стационарным полем вековых вариаций. Принято следующее определение геомагнитного экскурса — это кратковременное изменение направления геомагнитного поля, амплитуда которого не менее, чем в три раза превышает уровень вековых вариаций, а если достигается обратная полярность, то она либо неустойчива, либо занимает меньшее время, чем два-три собственных периода геомагнитного динамо [3]. По поведению геомагнитного поля в период экскурсов и по длительности экскурсы разделяются на два типа, которые, возможно, имеют и различную природу. Первые — короткие, длительностью от сотен до первых тысяч лет. Характерной чертой экскурсов этого типа является неустойчивое обращение геомагнитного поля. Устойчивое обратное поле во время таких экскурсов отсутствует. Экскурсы второго типа — длительные, по продолжительности они близки к периоду основного динамо, которое оценивается как  $9 \pm 1$  тыс. лет [8].

Изучение геомагнитных экскурсов чрезвычайно важно для познания процессов в земном ядре и разработки теории происхождения земного

<sup>1</sup>Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина, Дальневосточное отделение Российской академии наук, Хабаровск, Россия

<sup>2</sup>Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт водных и экологических проблем, Дальневосточное отделение Российской академии наук, Хабаровск, Россия

\*E-mail: peskovitig@yandex.ru

магнетизма. Кроме того, геомагнитные экскурсы как временные реперы с большой разрешающей способностью находят применение в различных областях наук о Земле: в стратиграфии и геохронологии, в седиментологии и тектонике (при изучении вертикальных движений земной коры), в палеонтологии и археологии, а также климатологии и биологии. Определение связей между поведением геомагнитного поля и климатическими и биологическими характеристиками окружающей среды в настоящее время имеет не только фундаментальный научный интерес, но и практический аспект — выявление истинных причин глобального потепления и связанных с ним катастрофических изменений в природе.

Обнаружение и оценка продолжительности геомагнитных экскурсов являются задачей сложной. В геологическом масштабе экскурсы очень кратковременны, и поэтому в геологических разрезах они могут быть записаны неполно, представлены одной точкой, т.е. статистически не значимы, либо вообще не записаны [11]. Именно по этой причине существование экскурса “Этруссия” остается дискуссионным [2], а оценка его продолжительности у разных авторов различается на порядок — от 100 до 1200 и более лет ([6, 11, 16] и др.).

Поскольку континентальные (озерные и речные) и морские разрезы осадочных пород не несут в себе полной записи таких геомагнитных вариаций, палеомагнитологи занимаются поиском альтернативных объектов. Например, исследователи из КНР, Тайваня и Австралии использовали в качестве объектов для палеомагнитных исследований сталагмиты. Данные пещерные образования удалось датировать с высокой точностью и выявить в них запись серии ранее неизвестных экскурсов в интервале 90–100 тыс. лет назад [15]. Недавно и у нас в стране впервые были проведены палеомагнитные исследования спелеотем [18].

Результаты наших исследований [6] позволяют утверждать, что торфяные отложения тоже могут являться объектом для проведения палеомагнитных исследований, где более полно, по сравнению с другими геологическими разрезами, записаны вариации геомагнитного поля в голоцене. Стоит отметить, что примеров определения экскурсов геомагнитного поля в торфяниках, как и, собственно, примеров палеомагнитных исследований торфяных разрезов в зарубежной и отечественной литературе нами найдено не было.

Полученные ранее палеомагнитные данные по торфяному разрезу Кия [6] были предварительными, поскольку был изучен только один торфяной разрез и магнитных чисток на изученных образцах не проводилось. Для доказательства магнитной природы зафиксированных палеомагнитных аномалий в торфянике нами был изучен один из са-

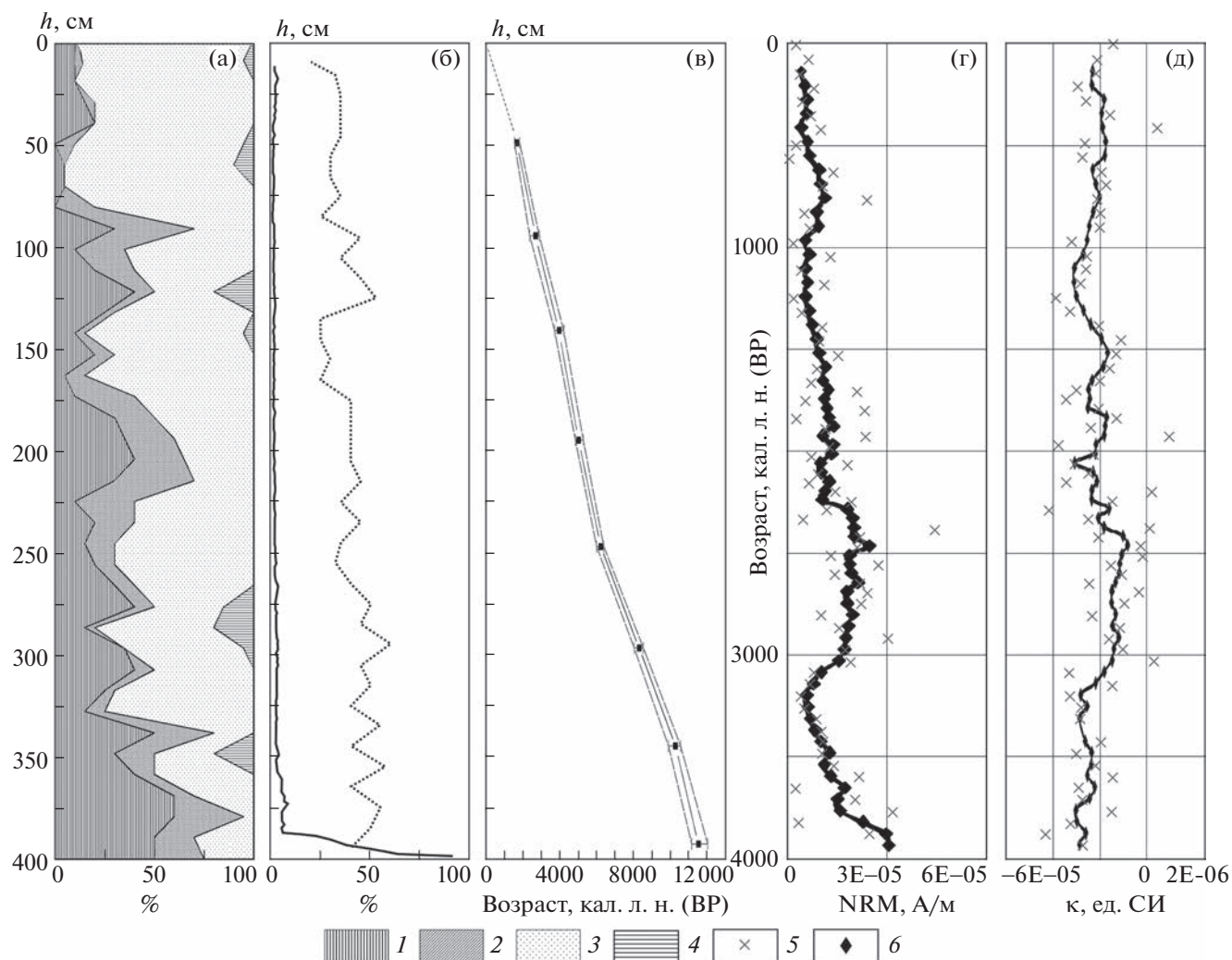
мых мощных в Приамурье (Хабаровский край, Россия) — торфяной разрез “Тяпка”. Целью исследований являлось получение для него полной магнитостратиграфической записи до рубежа 4 тыс. лет назад.

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Торфяной разрез “Тяпка” расположен в Хабаровском крае, с восточной стороны автодороги город Николаевск-на-Амуре—поселок Многовершинный в 500 м севернее моста через реку Тяпка, правого притока реки Тывлинка (53.69° с.ш., 140.09° в.д.). Торфяной массив размерами 400 × 200 м с мерзлым бугром в средней части является частью обширной выположенной заболоченной низменности с отметками 20–70 м над уровнем моря, протягивающейся на 18–20 км к востоку от места закладки разреза, где она круто обрывается к берегу Сахалинского залива Охотского моря. Данный торфяник относится к верховому типу и осушен открытыми канавами, что дало возможность отбирать “чистые” (без привноса стороннего материала) образцы на химические анализы, палинологию, радиоуглеродный возраст, петро- и палеомагнитные исследования.

Разрез сложен торфом различного состава и степени разложения (рис. 1 а, б). Зольность торфа в верхней 2-метровой толще варьируется от 1 до 2.5%, за исключением самого верхнего 10-сантиметрового интервала, где этот показатель достигает величин 5–6% вследствие процессов разложения растительных остатков, связанных с осушением торфяного месторождения. Ниже, до глубины 3.6 м количество золы колеблется от 3 до 4%, что является свидетельством отсутствия поступления аллохтонных минеральных включений в процессе торфообразования. Поведение величины зольности по разрезу (рис. 1 б) свидетельствует об отсутствии в процессе торфообразования наводнений и сильных пожаров.

Для изученного разреза нам удалось получить восемь <sup>14</sup>C-датировок (табл. 1), которые достаточно равномерно распределены по мощности торфяного разреза (рис. 1 в). Радиоуглеродное датирование верхних шести образцов выполнено в Институте мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (г. Томск), нижних двух — в Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск). Калибровка радиоуглеродных дат (табл. 1) проведена с помощью программы CALIB REV8.2 (<http://calib.org/calib/calib.html>). Коэффициент корреляции зависимости глубина отбора-калиброванный возраст 8 образцов составляет 0.993, что существенно выше его критического значения 0.707 для  $p = 0.05$ . Используя эти датировки, расположенные достаточно равномерно по глубине, была построена зависимость “глубина зале-



**Рис. 1.** Характеристика торфяного разреза “Тяпка”. а – ботанический состав, б – степень разложения (пунктир) и зольность (сплошная линия), в – возраст, г–д – зависимости петромагнитных характеристик торфяных отложений от возраста торфяника: естественной остаточной намагниченности (г), начальной магнитной восприимчивости (д). Условные обозначения: 1–4 – растительные остатки (1 – древесные и кустарниковые, 2 – травянистые, 3 – сфагновые мхи, 4 – зеленые мхи); 5–6 – петромагнитные характеристики (5 – исходные, 6 – сглаженные методом скользящего среднего по 5 точкам).

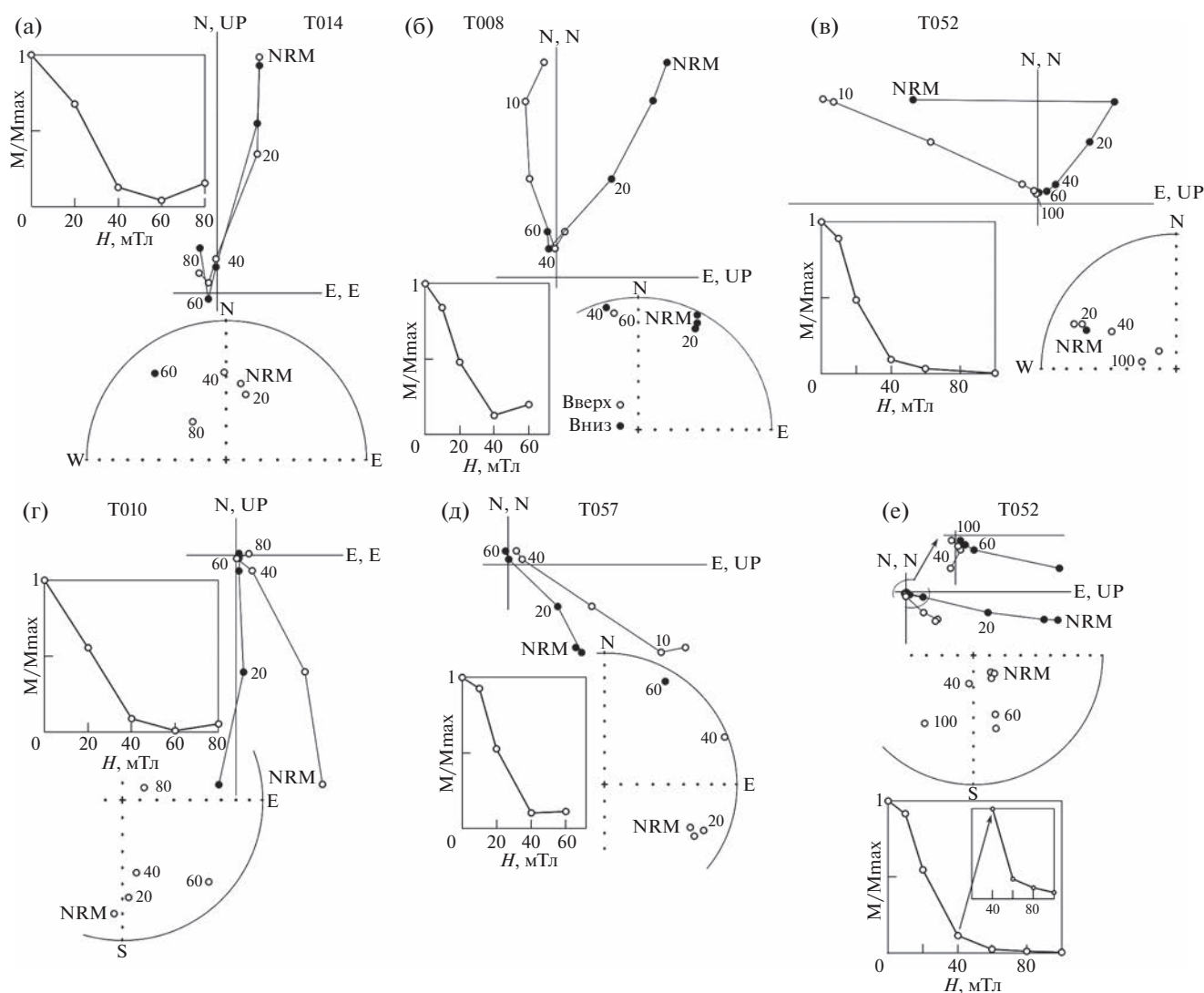
гания–возраст торфа” (рис. 1 в), которая использовалась для расчета возраста всех недатированных горизонтов разреза.

### МЕТОДИКА МИКРОЗОНДОВЫХ, ПЕТРО- И ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе проведения петромагнитных и палеомагнитных исследований проанализировано 72 азимутально ориентированных образца из торфяного разреза “Тяпка”. Отбор образцов производился сплошным опробованием по глубине путем вдавливания в подготовленную вертикальную стенку торфяного разреза 2-сантиметровых пластмассовых кубических контейнеров, магнитная восприимчивость которых составляла  $-2.35 \times$

$\times 10^{-6}$  ед. СИ (диамагнетик). Азимутальная ориентация образцов была проведена с помощью горного компаса. Отбор образцов проводился в точке с координатами  $53.69^\circ$  с.ш.,  $140.09^\circ$  в.д., магнитное склонение на эпоху 2020 г. составляло  $-13^\circ$ , что было учтено в значениях склонения вектора естественной остаточной намагниченности (NRM) каждого образца.

Величина начальной магнитной восприимчивости (к) измерялась на каппа-мосте MFK-1FA (AGICO, Чехия) с чувствительностью  $5 \times 10^{-8}$  ед. СИ. Магнитная чистка переменным магнитным полем (Н-чистка) выполнялась на криогенном магнитометре (2G Enterprise, США) с чувствительностью  $1 \times 10^{-7}$  А/м. Н-чистка проводилась с шагом от 10 до 40 мТл (всего от 3 до 7 шагов) до величины



**Рис. 2.** Примеры чистки переменным магнитным полем образцов торфа из разреза “Тяпка” (ортогональная диаграмма, стереограмма, кривая размагничивания) в географической системе координат. Цифрами на ортогональной диаграмме и стереограмме показаны шаги магнитной чистки (в мТл).

переменного магнитного поля ( $H$ ) 100 мТл. С целью устранения влияния вязкой компоненты намагниченности для расчета вариаций геомагнитного поля (построения зависимостей  $D_{\text{св}}$  и  $I_{\text{св}}$  от возраста) использовались значения измеренного вектора намагниченности при величине  $H = 60$  мТл (56% образцов, рис. 2 а, г); в случае полного размагничивания образца при данном значении поля, при  $H = 40$  мТл (28% образцов, рис. 2 б, д); в случае неполного размагничивания — при  $H = 100$  мТл (16% образцов, рис. 2 в, е).

Оценка относительной палеонапряженности геомагнитного поля проводилась по методу Багинной-Петровой [7, 9], суть которого заключается в сравнении кривых разрушения переменным магнитным полем естественной остаточной намагниченности (NRM) и созданной на этом же образце

идеальной (безгистерезисной) остаточной намагниченности (ARM). Отношение NRM/ARM в интервале переменных магнитных полей, где их коэрцитивные спектры совпадают (черные кружки, по которым построена прямая линия на рис. 3), равно отношению  $H_a/H_l$ , где  $H_l$  — напряженность постоянного магнитного поля создания ARM — в нашем случае  $H_l = 40$  А/м,  $H_a$  — палеонапряженность.

Подготовка образцов для микрозондовых исследований и термомагнитного анализа (ТМА) осуществлялась путем их магнитной сепарации. Образец торфа высушивался и измельчался в немагнитной ступке, затем с помощью постоянного магнита ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ), помещенного в пластиковый пакет, выделялась магнитная фракция.

**Таблица 1.** Радиоуглеродный и калиброванный возрасты торфа разреза “Тяпка”

| Глубина (h), см | Номер пробы   | Радиоуглеродный возраст,<br>$^{14}\text{C}$ л.н. | Калиброванный возраст,<br>кал. л.н. (BP) |
|-----------------|---------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 49              | ИМКЭС-14C1095 | $1765 \pm 67$                                    | $1653^{+171}_{-122}$                     |
| 95              | ИМКЭС-14C1097 | $2604 \pm 98$                                    | $2687^{+192}_{-324}$                     |
| 141             | ИМКЭС-14C1096 | $3663 \pm 72$                                    | $3995^{+237}_{-264}$                     |
| 195             | ИМКЭС-14C1098 | $4414 \pm 66$                                    | $5026^{+258}_{-169}$                     |
| 247             | ИМКЭС-14C1100 | $5437 \pm 66$                                    | $6230^{+162}_{-227}$                     |
| 297             | ИМКЭС-14C1102 | $7519 \pm 102$                                   | $8314^{+226}_{-274}$                     |
| 345             | СОАН-7076     | $9110 \pm 105$                                   | $10293^{+277}_{-378}$                    |
| 393             | СОАН-7079     | $10005 \pm 140$                                  | $11543^{+494}_{-367}$                    |

Термомагнитный анализ (определение точки (температуры) Кюри ( $T_c$ )) выполнялся на каппа-мосте MFK-1FA с приставкой CS3. Всего из интервала 0–200 см удалось выделить ~1 г магнитной фракции, смешанной с остатками органики, которую не удалось отделить в ходе магнитной сепарации. Объем фракции позволил выполнить одно определение зависимости  $\chi$  от температуры.

Микронзондовые исследования проводились на сканирующем (растровом) электронном микроскопе VEGA 3 LMN (“Tescan”, Чехия), оснащенном энергодисперсионным спектрометром X-Max 80 с системой микроанализа AztecTM (“Oxford Instruments”, Великобритания). Всего было проанализировано 14 образцов торфа, равномерно распределенных по всей мощности изученного интервала торфяного разреза.

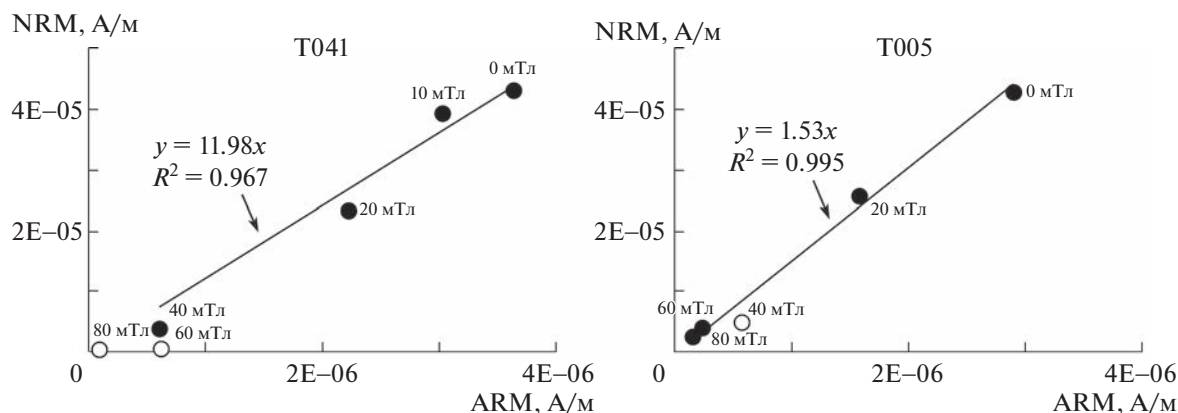
Все вышеперечисленные исследования были выполнены в аналитическом центре (ХИАЦ) Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Микронзондовые исследования и термомагнитный анализ.* В ходе выполнения исследований установлено, что основными магнитными минералами в изученных образцах торфа являются обломочные частицы магнетита размером от 1 до 10 мкм часто с примесью Cr, реже – Ni (рис. 4 а–в) с  $T_c \sim 580^\circ\text{C}$  (рис. 5). В меньшей мере в магнитном ансамбле присутствует гематит с  $T_c \sim 670^\circ\text{C}$  (рис. 5), микросферы магнетита (рис. 4 г, д), титаномагнетит (рис. 4 е).

Также в образцах торфа установлены частицы самородного железа (рис. 4 и), вольфрамит (?) (рис. 4 з) и сульфидов (в основном халькопирита (рис. 4 ж)).

Термомагнитный анализ (зависимость магнитной восприимчивости от температуры) выделенной магнитной фракции из торфа представлен на рис. 5, величина  $\chi$  до нагрева составляла  $1.08 \times 10^{-4}$  ед. СИ. При нагреве от комнатной тем-



**Рис. 3.** Примеры оценки палеонапряженности по образцам торфа из разреза “Тяпка”: зависимости естественной остаточной намагниченности (NRM) и созданной на этом же образце идеальной (безгистерезисной) остаточной намагниченности (ARM) в ходе проведения ступенчатой магнитной очистки.

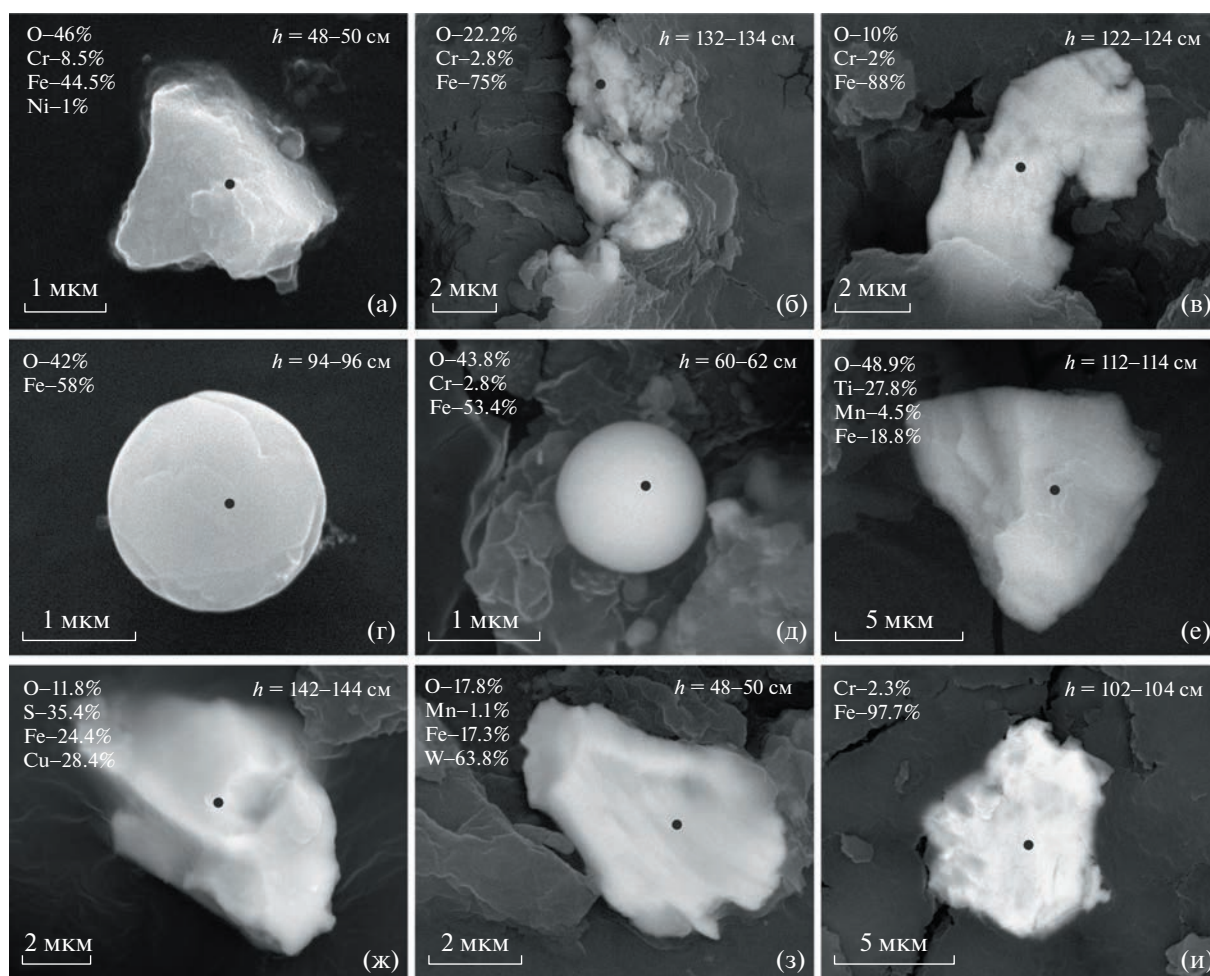


Рис. 4. Результаты микрозондового анализа. Состав минералов дан в весовых процентах;  $h$  — глубина по разрезу; черным кругом показана точка микрозондового анализа.

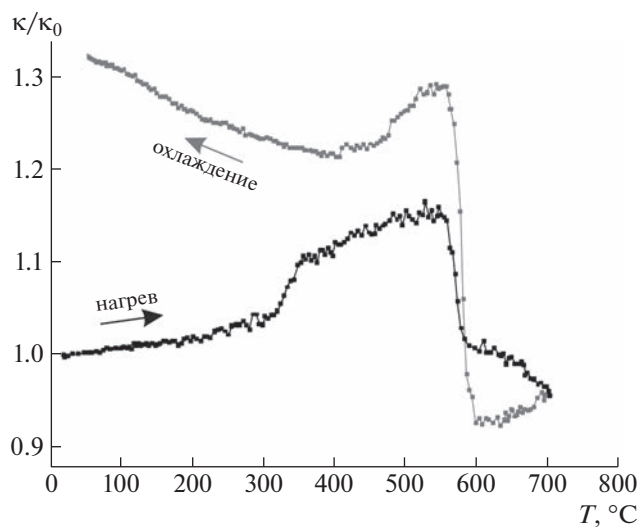
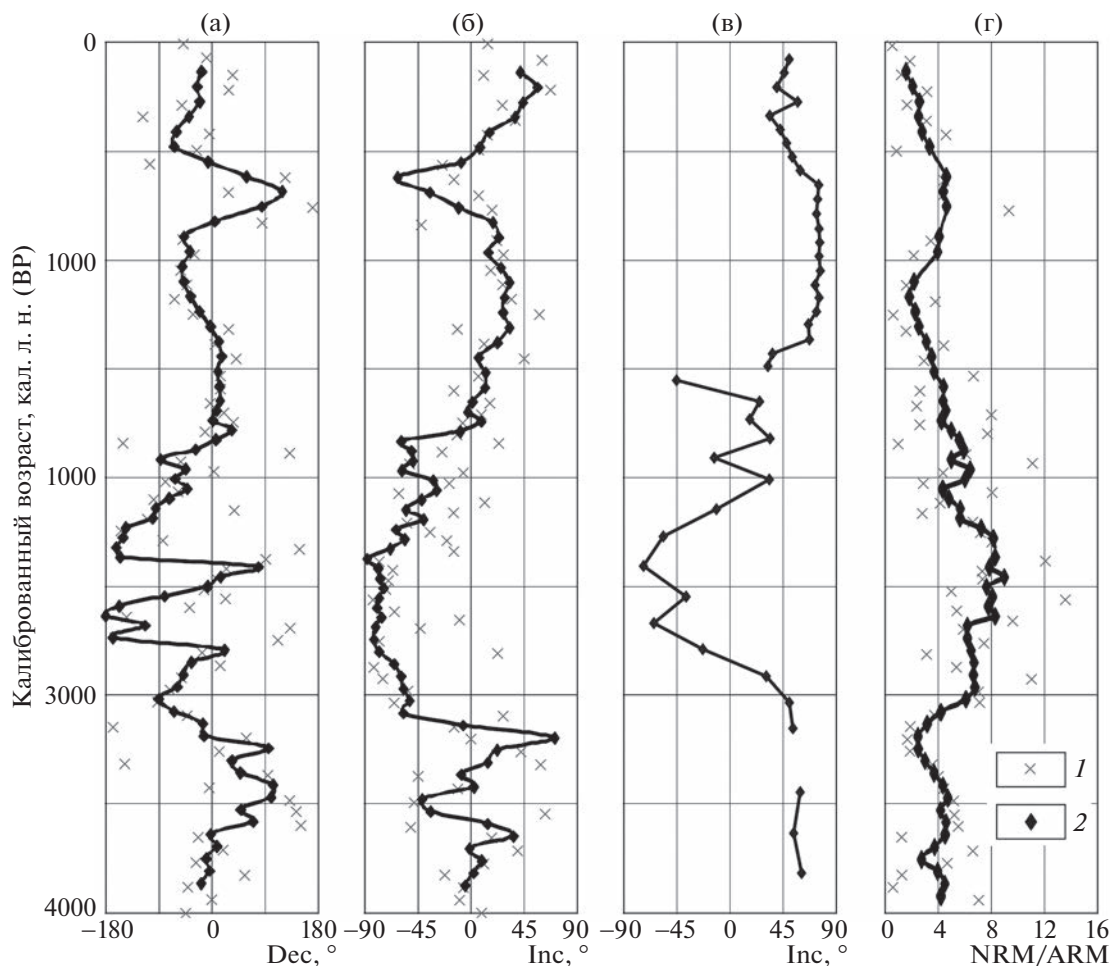


Рис. 5. Результаты термомагнитного анализа (зависимость магнитной восприимчивости от температуры).



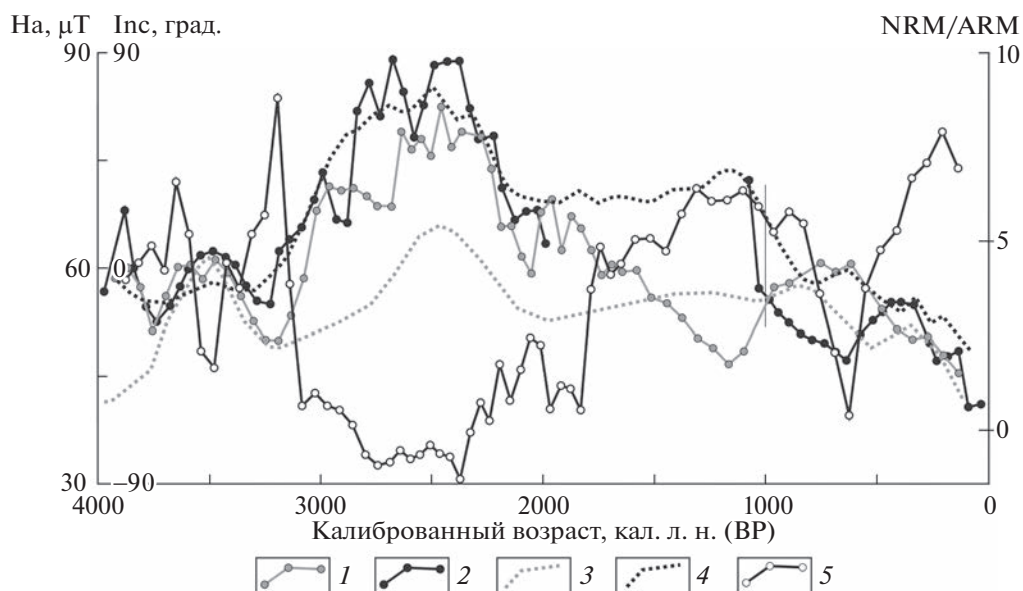
**Рис. 6.** Палеомагнитная характеристика торфяного разреза “Тяпка”. а, б, г – зависимости палеомагнитных характеристик торфяных отложений от возраста торфяника: Dec (а), Inc (б), NRM/ARM (относительная палеонапряженность) (г), в – зависимость Inc от возраста, полученная по разрезу “Кия” [6]. Условные обозначения: 1 – исходные значения палеомагнитных характеристик; 2 – сглаженные значения палеомагнитных характеристик методом скользящего среднего по 5 точкам.

пературы до 300°C происходит плавное и незначительное увеличение  $k$  примерно на 4.5%. В интервале 320–370°C наблюдается резкое возрастание  $k$  на ~16% от начальной, что может быть связано с преобразованием обнаруженных при микронзондовом анализе сульфидов (рис. 4 ж) и образованием в процессе нагрева нового магнетита. Затем при нагреве примерно до 550–560°C снова наблюдается достаточно плавное увеличение  $k$ , которое связано с эффектом Гопкинсона – возрастанием магнитной восприимчивости магнитных материалов в слабых магнитных полях вблизи их точки Кюри, благодаря резкому уменьшению около этой температуры магнитной анизотропии материала [10]. На кривой нагрева отчетливо зафиксированы две  $T_c$  – магнетитовая (~580°C) и гематитовая (~670°C). На кривой охлаждения отчетливо фиксируются точка Кюри в интервале 580–590°C и величина  $k$  после нагре-

ва составляет ~1.33 от начальной, что связано с образованием вторичного магнетита за счет распада природных сульфидов железа [4].

Полагаем, что по результатам микронзондового и термомагнитного анализов уверенно можно заключить, что основным магнитным носителем исследованных торфяников является магнетит и, в меньшей степени, гематит.

*Петромагнитные и палеомагнитные исследования.* Зависимость величины начальной магнитной восприимчивости от возраста исследуемых образцов показана на рис. 1 д. Практически по всему профилю изученного интервала разреза фиксируется отрицательное значение величины  $k$ , что свойственно диамагнитным веществам. Измеренная магнитная восприимчивость находится в диапазоне от  $-4.39 \times 10^{-6}$  до  $9.1 \times 10^{-7}$  ед. СИ; среднее значение  $k$  составляет  $-2.1 \times 10^{-6}$  ед. СИ.



**Рис. 7.** Сопоставление рассчитанной относительной палеонапряженности по торфяному разрезу “Тяпка” (1) с палеонапряженностью, полученной по археомагнитным данным Пиренейского полуострова [5] (2), Греции [17] (3), Британских островов [13] (4). (5) Зависимость Inc от возраста торфяника.

На рис. 1 г представлен график изменения величины NRM образцов. Средняя величина NRM торфяников в изученном интервале разреза равна  $1.32 \times 10^{-5}$  А/м. Разброс измеренных значений составляет два порядка — от  $1.91 \times 10^{-7}$  до  $4.32 \times 10^{-5}$  А/м. Наблюдается слабая положительная корреляционная зависимость между измеренными величинами  $k$  и NRM.

На рис. 6 а и 6 б представлено поведение склонения (Dec) и наклонения (Inc) вектора намагниченности по глубине разреза.

Вариация значений Dec при осреднении методом скользящего среднего (осреднение проводилось по 5 точкам полного вектора единичных NRM) по изученному интервалу разреза весьма велика — от  $-179^\circ$  до  $+119^\circ$  (рис. 6 а). Аналогичным образом можно описать поведение Inc: вариации наклонения намагниченности составляют от  $+70^\circ$  до  $-88^\circ$ .

На графиках “Dec-возраст” и “Inc-возраст” можно выделить три интервала: верхний, средний и нижний (рис. 6 а, б). Верхний интервал приурочен к горизонту 0–55 см (0–1788 кал. л.н.). В нем хорошо заметен “аномальный” участок с отрицательными значениями Inc и отличными от современных значениями Dec. Мощность торфяной залежи с записью “аномального” участка составляет 8 см, что соответствует временному диапазону от 828 до 552 кал. л.н. Без учета “аномального” участка вариации значений Dec и Inc в верхнем интервале составляют  $67^\circ$  (от  $-50^\circ$  до  $17^\circ$ ) и  $60^\circ$  (от  $-5^\circ$  до  $55^\circ$ ) при средних значениях  $-15^\circ$  и  $24^\circ$  соответственно. Среднее значение Dec в

верхнем интервале близко к современному ( $-13^\circ$ ). Однако стоит отметить, что среднее значение Inc образцов верхнего интервала разреза отличается от наклонения геомагнитного поля в месте отбора проб ( $+68^\circ$ ). Вероятно, намагниченность в изученном торфяном разрезе, по аналогии с большинством осадочных пород, обладает эффектом занижения наклонения намагниченности, а количество шагов размагничивания не позволяет в полной мере применить метод компонентного анализа, способный более точно выделить первичный палеомагнитный сигнал.

Средний интервал выделяется в горизонте 57–109 см (1833–3083 кал. л.н.). Вариации значений Dec в данном интервале составляют порядка  $250^\circ$  (от  $-179^\circ$  до  $78^\circ$ ) при среднем значении  $-78^\circ$ , которое существенно отличается от современного. Значения Inc в данном интервале отрицательные: от  $-88^\circ$  до  $-29^\circ$  при среднем значении  $-70^\circ$ .

Нижний интервал выделяется в горизонте 111–143 см (3139–4033 кал. л.н.). В нем выделяется “аномальный” участок, аналогичный установленному в верхнем интервале, с отрицательными значениями Inc и отличными от современных значениями Dec. Мощность “аномального” участка составляет 6 см, что соответствует 170 годам (от 3535 до 3365 кал. л.н.). Среднее значение Dec в нижнем интервале, без учета “аномального” участка, близко к современному и составляет  $3^\circ$  при вариациях от  $-32^\circ$  до  $100^\circ$ . Среднее значение Inc близко к верхнему интервалу и составляет  $32^\circ$  при вариациях от  $-10^\circ$  до  $68^\circ$ .

*Расчет относительной палеонапряженности.* В результате исследований, описанных в методическом разделе настоящей работы, построена зависимость “(NRM/ARM) — возраст”, определяющая относительную напряженность магнитного поля на момент образования слоев торфяника (рис. 6 г). Отношение NRM/ARM рассчитывалось в интервале переменных магнитных полей, где коэрцитивные спектры естественной и идеальной остаточной намагниченности совпадают (рис. 3, черные кружки). Полученная зависимость имеет хорошую сходимость с расчетами палеонапряженности по археомагнитным данным Пиренейского полуострова [5] (рис. 7), а также имеет схожее поведение с кривыми палеонапряженности, полученными по археомагнитным данным Греции и Британских островов [13, 17].

Сходный характер полученных данных по относительной палеонапряженности геомагнитного поля в различных регионах Евразии позволяет сделать заключение о синхронности изменения напряженности магнитного поля Земли (МПЗ), по крайней мере, от побережья Пиренейского полуострова [5] до побережья Охотского моря (настоящая работа), а также доказывает магнитную природу палеомагнитной записи, установленной в торфах. Не менее важно то, что в одном разрезе становится возможным сопоставить поведение угловых характеристик геомагнитного поля и его напряженности за последние 4000 лет.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно ([8, 16] и др.) около 2700–2500 лет назад произошел экскурс геомагнитного поля “Этруссия”. Данный экскурс был определен по осадочным породам и археологическим находкам более чем в 15 различных регионах северного полушария Земли (Аляска, Урал, северная Швеция, Туркменистан, Украина, Желтое море, Балтика, Карелия, Сибирь и др.) [16], а также по торфяному разрезу “Кия” (рис. 6 в) [6].

Принято считать, что экскурсии магнитного поля происходят на фоне понижения напряженности поля [11]. Однако имеются литературные данные, что экскурс “Этруссия” происходил на фоне повышенных значений напряженности геомагнитного поля [8].

Выделенный в торфяном разрезе “Тяпка” средний интервал на зависимостях “Дес—возраст” и “Inc—возраст” с продолжительностью 1250 лет (1833–3083 кал. л.н.) имеет отрицательные значения Inc (–70°) и отличные от современных значения Дес = 282°. Схожий по продолжительности и временному диапазону интервал был установлен в торфяных отложениях разреза “Кия” (рис. 6 в) [6], что дополнительно доказывает магнитную природу установленной палеомагнитной анома-

лии. Данный интервал, по всей вероятности, отражает экскурс МПЗ “Этруссия”.

Полученные данные по палеонапряженности и направлению геомагнитного поля позволяют “образец в образец” сопоставить поведение главных характеристик МПЗ во время данного экскурса (рис. 7):

1. Синхронно со временем начала экскурса “Этруссия” (3083 кал. л.н.) напряженность МПЗ стала возрастать и ~ за 100 лет увеличилась на 40% (рис. 7).

2. Далее, на протяжении около 800 лет (до 2200 кал. л.н) северный магнитный полюс (СМП) находился в южном полушарии, скорость его широтного перемещения снизилась и имела близкий к хаотичному характер. Наряду с этим напряженность поля сохранялась относительно высокой и менялась в незначительных пределах (рис. 7).

3. В следующие 300–400 лет (2200–1833 кал. л.н) напряженность МПЗ начала снижаться (рис. 7). В конце данного временного интервала (~1800 кал. л.н.) СМП достигает своих современных широт. Это время можно считать окончанием экскурса МПЗ “Этруссия”. Необходимо отметить, что погрешность полученных возрастных датировок, и, соответственно, приводимых в работе временных рубежей палеомагнитных аномалий, установленных в торфяном разрезе, составляет в среднем ±200–300 лет (табл. 1).

Важно заметить, что существует связь между экскурсами геомагнитного поля и климатом на планете. В работе [16] отмечено, что экскурс “Этруссия” происходил одновременно с глубоким минимумом солнечной активности. Как следствие, в это время увеличились зональная циркуляция и облачность, что привело к похолоданию климата. Похолодание климата в интервале 2000–3000 лет назад фиксируется различными методами во многих регионах планеты — Восточная Азия, Европа, Африка, Северная Америка и другие ([1, 12, 19] и др.). Более того, данные о похолодании около 2500 лет назад получены и по результатам исследований торфяников Приамурья [1].

В этой связи обращают на себя внимание “аномальные” участки, установленные в верхнем и нижнем интервалах на зависимостях “Дес—возраст” и “Inc—возраст” (рис. 6 а, б). Данные участки имеют меньшую, по сравнению экскурсом “Этруссия”, продолжительность (~150–300 лет), но при этом происходят, по аналогии с установленным экскурсом, на фоне повышенных значений МПЗ (сопоставление кривых палеонапряженности и Inc по торфам, рис. 7).

Учитывая предполагаемую взаимосвязь вариаций МПЗ и климата, справедливо заметить, что “аномальный” участок с возрастом 828–552 кал. л.н приходится на исторический период, характеризуемый многими исследователями как “малый

ледниковый период” (XIV–XIX вв.). Однако вопрос изучения “аномальных” участков будет рассмотрен в будущем, после изучения дополнительных торфяных разрезов, в том числе с целью обнаружения аналогичных интервалов.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют заключить, что:

1. Основным носителем намагниченности в исследованном интервале торфяного разреза “Тяпка” является магнетит и, в меньшей степени, гематит.
2. Торфяные отложения являются перспективным объектом для изучения вековых вариаций геомагнитного поля, в том числе и экскурсов в голоцене.
3. Начало геомагнитного экскурса “Этрессия” можно отнести к интервалу 3.1–3.0, а его завершение – к интервалу 1.9–1.8 тыс. кал. л.н; длительность экскурса составляла ~1200 лет.
4. Впервые по торфяным отложениям получены значения относительной палеонапряженности, свидетельствующие, что экскурс “Этрессия” происходил на фоне повышенных значений напряженности магнитного поля Земли.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность и благодарность анонимному рецензенту рукописи, чьи замечания и предложения существенно способствовали улучшению качества представляемого материала.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00083, <https://rscf.ru/project/23-27-00083/>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базарова В.Б., Климин М.А., Копотева Т.А. Голоценовая динамика восточноазиатского муссона в Нижнем Приамурье // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 124–133.
2. Бахмутов В.Г. Магнитостратиграфия плейоцена: современное состояние, проблемы и перспективы исследований. <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/Bahmutov.pdf>
3. Краткая история и современное состояние геомагнитных исследований в Институте физики Земли Российской академии наук: сб. статей / под ред. С.П. Бурлацкой, А.Н. Диденко, З.В. Шароновой. М.: ИФЗ РАН, 2004. 188 с.
4. Минюк П.С., Тюкова Е.Э., Субботникова Т.В., Казанский А.Ю., Федотов А.П. Термокаппаметрия природных сульфидов железа Северо-Востока России // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 4. С. 601–614.
5. Начасова И.Е., Акимов С.В. Вариации напряженности геомагнитного поля на Пиренейском п-ове в последние тысячелетия // Физика Земли. 2015. № 5. С. 100–106.
6. 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, Сихотэ-Алинь (предварительные данные) // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39. № 2. С. 79–89.
7. Петрова Г.Н., Багина О.А. О безнагревном методе определения напряженности древнего геомагнитного поля // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1976. № 4. С. 54–62.
8. Петрова Г.Н., Нечаева Т.Б., Поспелова Г.А. Характерные изменения геомагнитного поля в прошлом. М.: Наука, 1992. 175 с.
9. Печерский Д.М. Петромагнетизм и палеомагнетизм. М.: Наука, 1985. 128 с.
10. Печерский Д.М., Диденко А.Н. Палеозойский океан: петромагнитная и палеомагнитная информация о его литосфере. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 298 с.
11. Поспелова Г.А. О геомагнитных экскурсах // Физика Земли. 2002. № 5. С. 30–41.
12. Barber K., Langdon P. Testing the paleoclimatic signal from peat bogs – temperature or precipitation forcing? / ESFHOLIVAR International Conference: Past climate variability through Europe and Africa. Abstr. 2001. P. 58.
13. Batt C.M., Brown M.C., Clelland S.-J., Korte M., Linford P., Outram Z. Advances in archaeomagnetic dating in Britain: New data, new approaches and a new calibration curve // Journal of Archaeological Science. 2017. V. 85. P. 66–82.
14. Channell J.E.T., Singer B.S., Jicha B.R. Timing of Quaternary geomagnetic reversals and excursions in volcanic and sedimentary archives // Quaternary Science Reviews. 2020. V. 228. 106114. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.106114>
15. Chou Y.-M., Jiang X., Liu Q., Hu H.-M., Wu Ch.-Ch., Liu J., Jiang Zh., Lee T.-Q., Wang C.-C., Song Y.-F., Chiang C.-C., Tan L., Lone M.A., Pan Y., Zhu R., Ha Y., Chou Y.-C., Tan A.-H., Roberts A.P., Zhao X., Shen C.-C. Multidecadally Resolved Polarity Oscillations during a Geomagnetic Excursion. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2018. V. 115 (36). P. 8913–8918. <https://doi.org/10.1073/pnas.1720404115>
16. Dergachev V.A., Raspopov O.M., Geel B., Zaitseva G.I. The ‘Sterno-Etrussia’ geomagnetic excursion around 2700 BP and changes of solar activity, cosmic ray intensity, and climate // Radiocarbon. 2004. V. 46. № 2. P. 661–681.
17. De Marco E., Spatharas V., Gormez-Paccard M., Chauvin A., Kondopoulou D. New archaeointensity results

- from archaeological sites and variation of the geomagnetic field intensity for the last 7 millennia in Greece // *Physics and Chemistry of the Earth*. 2008. V. 33 (6). P. 578–595.
18. Gavriushkin D.A., Pasenko A.M., Veselovskiy R.V., Rud'ko D.V. Geomagnetic excursion record preserved in the speleothem from western Caucasus: first data. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. V. 13 (2).
19. Schilman B., Bar-Matthews M., Almogi-Labin A., Luz B. Global climate instability reflected by eastern Mediterranean marine records during the Late Holocene // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2001. V. 176. P. 157–176.

## PEAT DEPOSITS AS A NEW SOURCE OF PALEOMAGNETIC RECORDS IN THE HOLOCENE AS EXEMPLIFIED BY THE ETRUSSIA EXCURSION

A. Yu. Peskov<sup>a, #</sup>, Corresponding Member of the RAS A. N. Didenko<sup>a, b</sup>, A. S. Karetnikov<sup>a</sup>, M. A. Klimin<sup>c</sup>, M. V. Arkhipov<sup>a</sup>, N. V. Kozhemyako<sup>a</sup>, and A. I. Tikhomirova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>c</sup>*Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: peskovitig@yandex.ru*

The paper presents the results of microprobe, paleomagnetic and rock magnetic studies on peats from the Тыпка peat section (Khabarovsk region) formed 4 thousand years. Alternating field demagnetization of peats yielded a horizon of 57–109 cm (1833–3083 cal. BP) with negative inclination values of the magnetization vector, which corresponds to the geomagnetic Etrussia excursion. Obtaining relative paleointensity estimates for peats was pioneered, which are consistent with the literature archeomagnetic data for the western part of Eurasia. It was found that the Etrussia excursion took place against the background of increased values of the Earth's magnetic field, and its duration was ~ 1200 years.

**Keywords:** paleomagnetism, peat, geomagnetic field excursion, relative paleointensity, Priamurye