

## ГЕОХИМИЯ И МАГНЕТИЗМ ТОРФЯНИКОВ МЕЖДУРЕЧЬЯ РЕК ХОР И КИЯ, СИХОТЭ-АЛИНЬ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)

*А.Ю. Песков<sup>1</sup>, В.О. Крутикова<sup>1</sup>, Е.Н. Захарченко<sup>2</sup>, В.В. Чаков<sup>2</sup>, М.А. Климин<sup>2</sup>,  
А.С. Каретников<sup>1</sup>, А.Н. Диденко<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: [itig@itig.as.khb.ru](mailto:itig@itig.as.khb.ru)

<sup>2</sup>ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Дикопольцева 56, г. Хабаровск, 680000

<sup>3</sup>ФГБОУВО Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская 136, г. Хабаровск, 680035

Поступила в редакцию 8 апреля 2019 г.

В работе представлены результаты геохимических, микрозондовых, петро- и палеомагнитных исследований торфяного разреза в междуречье рек Хор и Кия (Хабаровский край), сформировавшегося за последние 10 тыс. лет. В результате проведенных комплексных исследований выявлен горизонт (75–100 см) с повышенными концентрациями Ni, Zn, Bi, Se. В подошве данного горизонта обнаружены магнетитовые и углеродистые сферулы, а также частицы самородного железа, присутствие которых, вероятно, связано с импактным событием, произошедшим около 5500 лет назад. Впервые показано, что торфяники могут быть использованы в качестве объектов палеомагнитных исследований: в горизонте 50–75 см установлена отчетливая вариация наклона вектора остаточной намагниченности, которая по времени соответствует экскурсу геомагнитного поля «Этруссия» (2500 лет назад).

**Ключевые слова:** геохимия, магнетизм, торф, космические частицы, экскурс геомагнитного поля, Сихотэ-Алинь.

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным данным в атмосферу Земли ежедневно поступает более 60 тонн космической пыли [22], причем это оценка фонового процесса без учета крупных импактных событий. Для специалистов в области наук о Земле несомненный интерес представляет изучение распределения этого вещества на поверхности планеты под влиянием конкретных географо-климатических и геофизических условий, свойственных тому или иному району земного шара. С геофизических позиций наиболее интересно выявление воздействия на этот процесс магнитного поля Земли. Сопоставление данных о поведении геомагнитного поля во времени с концентрацией и составом захороненных космических частиц позволит скоррелировать эти два процесса.

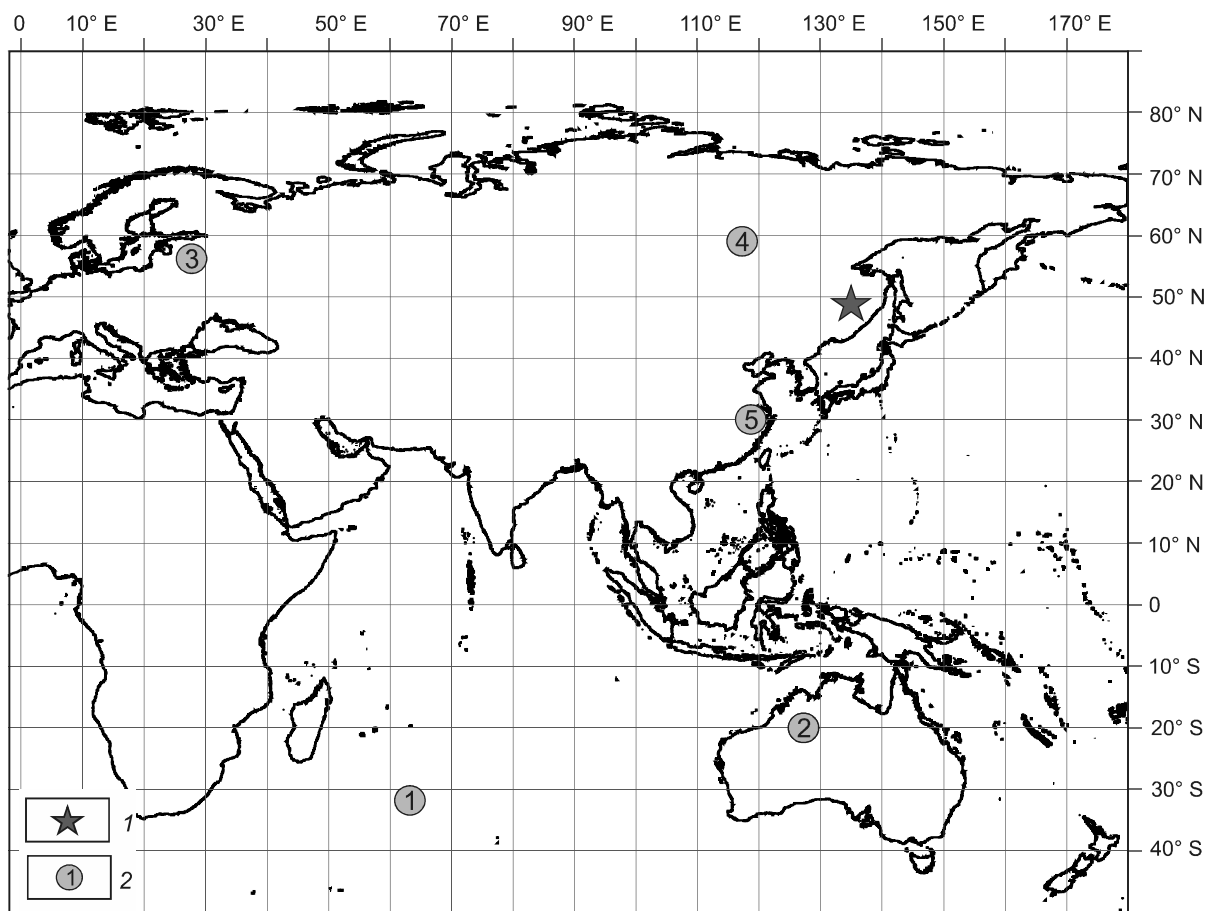
В работе представлены первые результаты исследования голоценовых торфяников Приамурья с целью определения их геохимических характеристик, выяснения и анализа состава Fe-содержащих частиц космического происхождения по данным магнитной петрологии и микрозондовых исследований. Объектом изучения послужили торфяные отложения раз-

реза «Кия» (47.81° с.ш., 135.66° в.д.), расположенного на юге Дальнего Востока России в междуречье рр. Хор и Кия (рис. 1).

Выбор указанного торфяного разреза в качестве объекта комплексного изучения был обусловлен следующими тремя основными факторами: 1) ранее проведенные исследования торфяных отложений Сибири и Европейской части России [например, 13–15] петромагнитным и микрозондовым методами показали их перспективность на предмет обнаружения следов импактных событий; 2) состав и мощность генетических слоев торфа разреза «Кия» являются типичными для большинства болотных экосистем, распространенных в южной части Среднеамурской депрессии [11]; 3) наличие 5-ти <sup>14</sup>C-датировок, равномерно распределенных по мощности торфяного разреза [1].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Подготовка вертикальной стенки торфяного разреза «Кия» высотой 2.5 м и шириной 1 м производилась обычным шанцевым инструментом. Зачистка непосредственно в месте отбора образцов проводилась



**Рис. 1.** Положение торфяного разреза «Кия» и импактных событий в интервале 4500–7500 лет назад на карте. 1 – разрез «Кия», 2 – места падения космических тел, по [24].

немагнитным ножом. Отбор образцов для последующих петро- и палеомагнитных исследований производился сплошным опробованием по глубине путем вдавливания в подготовленную вертикальную стенку торфяного разреза 2-сантиметровых пластмассовых кубических контейнеров, магнитная восприимчивость которых составляла  $-2.35 \times 10^{-6}$  ед. СИ (диамагнетик). Простираение стенки разреза было определено с помощью горного компаса и составило  $60^\circ$ . Всего было отобрано 95 ориентированных образцов, что соответствует 190 см мощности торфяного разреза от кровли до подошвы. Отбор образцов проводился в точке с координатами  $47.81^\circ$  с.ш.,  $135.66^\circ$  в.д., магнитное склонение на эпоху 2018 г. составляло  $11.8^\circ$  W, что было учтено в значениях склонения NRM каждого образца.

Величина начальной магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) измерялась на каппа-мосте МФК-1FA (AGICO, Чехия) с чувствительностью  $5 \times 10^{-8}$  ед. СИ, из которой затем вычиталась величина магнитной восприимчивости пластикового 2-сантиметрового контейнера

( $-2.35 \times 10^{-6}$  ед. СИ). Измерение величины и направления вектора естественной остаточной намагниченности (NRM) образцов торфа выполнялось на СКВИД-магнитометре (2G Enterprise, США) с чувствительностью  $1 \times 10^{-7}$  А/м. Результаты первичных измерений представлены в приложении 1. Обработка первичных петро- и палеомагнитных экспериментальных данных для расчета величин  $\chi$  и NRM, склонения (Dec) и наклонения (Inc) проводилась с использованием программных продуктов, входящих в состав измерительных комплексов, а также стандартных Microsoft Office Excel 2007 и Origin 7.5. Более подробно методика петро- и палеомагнитных исследований рассмотрена в [4, 7].

После проведенных петро- и палеомагнитных измерений и выявления аномальных участков разреза по величинам NRM и  $\chi$  были отобраны образцы для проведения микронзондовых и геохимических исследований.

Подготовка образцов для микронзондовых исследований осуществлялась путем их магнитной

сепарации с использованием постоянного магнита ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ), помещенного в несколько пластиковых пакетов. Предварительно образец торфа высушивался и измельчался в немагнитной ступе. Выделенные частицы помещались на проводящий углеродный скотч, закрепленный на алюминиевом столике диаметром 12 мм, который затем помещался в камеру микроскопа.

Микронзондовые исследования проводились на сканирующем (растровом) электронном микроскопе VEGA 3 LMN (Tescan, Чехия), оснащенный энергодисперсионным спектрометром X-Max 80 с системой микроанализа AztecTM (Oxford Instruments, Великобритания). Прибор обеспечивает диапазон детектируемых элементов от бора до урана с пределом обнаружения элементов от 0.1 вес. %. Поиск магнитных минералов, их фотографирование проводились в режиме обратно-отраженных электронов (BSE-детектор), при котором фазы с более высоким средним атомным номером отражаются более ярко и контрастно по сравнению с фазами, имеющими меньший средний атомный номер. При обнаружении «яркой» фазы производилась ее идентификация с помощью микроанализа (ускоряющее напряжение составляло 20 кВ, ток электронного пучка – 500–700 пА). В ходе исследований применялись два эталонных образца: алюминиевый образец со специальной поверхностью для центрирования падающего электронного пучка и кобальтовый образец для контроля тока пучка и энергетического смещения спектральных линий.

При анализе микрочастиц магнитных минералов идентифицировались высокие показатели величин содержания углерода. Эти концентрации могут определяться как составом самих частиц, так и влиянием окружающей матрицы, которое обусловлено величиной пространственного разрешения, т.е. размером области генерации рентгеновского излучения в объеме образца. Область генерации рентгеновского излучения при ускоряющем напряжении 20 кВ составляет 3–4 мкм по площади, поэтому при анализе частиц, размерами, сопоставимыми с областью генерации излучения, происходит «захват» элементов прилегающей матрицы. Определенный вклад в повышенное содержание углерода может вносить образование углеводородных пленок на поверхности исследуемых частиц под воздействием электронного пучка, а также загрязнение прибора, выражающееся в оседании на внутренних деталях электронно-оптической колонны углеводородных пленок, вызванных присутствием в приборе остаточных паров вакуумного масла.

Геохимические исследования в торфах проводились методом масс-спектрометрии с индуктивно-

связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе Elan 9000 (Perkin Elmer, Канада). Поскольку объектом анализа в ИСП-МС являются растворы, торф требовалось разложить с применением кислот. Для этого, согласно [5], высушенные и измельченные пробы навеской 0.05 г помещали в стеклоуглеродные тигли и обрабатывали 1 мл концентрированной  $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$ , затем выпаривали на плите до влажных солей. В остаток добавляли 1 мл смеси кислот  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HF}$  в соотношении 1:1, и смесь выпаривали до влажных солей. Затем в каждую пробу добавляли по 1 мл смеси  $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}_2$  в соотношении 1:1, выпаривали досуха, после чего приливали 10 мл 10 %  $\text{HNO}_3$  и прогревали до полного растворения осадка. Далее раствор охлаждали до комнатной температуры, переносили в мерную пробирку и доводили до метки 2 %  $\text{HNO}_3$ . Для градуировки прибора использовались многоэлементные растворы производства Perkin Elmer № 2–5. Снижение влияния матричного эффекта на определение концентраций элементов осуществлялось методом внутреннего стандарта, в качестве которого использовали изотоп индия  $^{115}\text{In}$ , добавляя его во все образцы в концентрации 40 мкг/дм<sup>3</sup>. Нижний предел измерений составлял 0.001 г/т.

Величина зольности (Z) определялась в ИВЭП ДВО РАН по 39 образцам, равномерно распределенным по разрезу (интервал опробования – 5 см). Температура нагрева образцов составляла 450 °С. Прокаливание образцов производилось в муфельной печи СНОЛ-16251-II-ИЗ (пр-во СССР) при температуре 450 °С. Взвешивание образцов – на аналитических весах AW-220 (пр-во Япония).

#### ОПИСАНИЕ ТОРФЯНОГО РАЗРЕЗА

Торфяной разрез «Кия» расположен в междуречье рр. Хор и Кия (рис. 1). Исследуемая торфяная залежь относится к переходному типу со слабо засоренными торфяными почвами. Засоренность минеральными частицами крайне мала – 0.2 % при норме < 2 %; минеральные частицы размерами > 5 мм в торфе не обнаружены. Мощность торфяной залежи в месте отбора составляет 190 см. Сложена она остатками кустарничков и травянистых растений, к которым в небольших количествах примешиваются остатки кустарников и зеленых мхов. Наиболее часто в торфяном волокне встречаются остатки таких растений, как хамедафне чашечная (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench), вейник незамечаемый (*Calamagrostis neglecta* (Ehrh.) P.Gaertn., B.Mey. & Schreb.), вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Kom.) Jarosch.), рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.), береза (*Betula sp.*) [11, 16]. Степень разложения растительных остатков высокая по всему разрезу, мини-

**Таблица 1. Радиоуглеродный возраст торфа из разреза «Кия», по [1].**

Лабораторный номер	Интервал, см	Радиоуглеродный возраст по $^{14}\text{C}$ л.н.	Калиброванный возраст, кал. л.н.
СОАН-4454	185–190	$8890 \pm 95$	$9972 \pm 166$
СОАН-4453	153–158	$7965 \pm 85$	$8823 \pm 134$
СОАН-4718	108–113	$5410 \pm 70$	$6177 \pm 98$
СОАН-4452	90–95	$3720 \pm 100$	$4089 \pm 145$
СОАН-4451	18–23	$520 \pm 70$	$569 \pm 55$

*Примечание.*  $^{14}\text{C}$  л.н. – радиоуглеродных лет назад; кал. л.н. – калиброванных лет назад. Интервал глубин пересчитан с учетом разного уровня залегания подошвы торфа на месторождении (205–210 см) и изученного разреза «Кия» в настоящей работе (185–190 см) вследствие уплотнения осушенной торфяной залежи за 20 лет.

мальные значения этого показателя (40–50 %) определены для верхней части профиля, к низу они постепенно увеличиваются до 80 %.

Заболачивание территории связано с периодическими половодочными затоплениями залесенных поверхностей плоского водораздела на начальном этапе бореального периода, что хорошо согласуется с полученной для подошвы исследуемого торфяного разреза радиоуглеродной датой  $8890 \pm 95$   $^{14}\text{C}$  л.н. ( $9972 \pm 166$  калиброванных лет назад) [1]. Помимо датировки подошвы изучаемого разреза имеются еще четыре  $^{14}\text{C}$ -датировки (табл. 1).

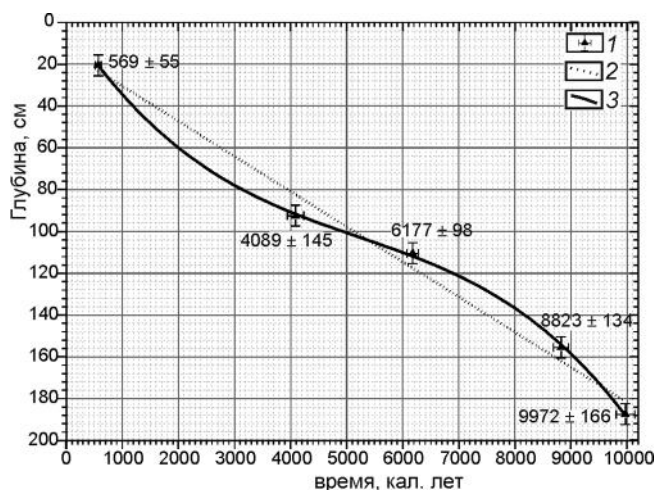
Используя эти пять датировок, расположенных достаточно равномерно по глубине, были рассчитаны две зависимости «глубина залегания–возраст торфа»: линейная и полином 3-й степени (рис. 2). Последняя использовалась для расчета возраста всех недатированных горизонтов разреза.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Петромагнитные и палеомагнитные исследования\*

Зависимость величины начальной магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) от глубины залегания исследуемых образцов показана на рисунке 3, б. Практически по всему профилю изученного разреза, за исключением горизонтов 0–10 и 170–190 см, фиксируется отрицательное значение величины  $\chi$ , что свойственно диамагнитным веществам. Среднее значение  $\chi$  для всего разреза, за исключением двух горизонтов, указанных выше, составляет  $-1.27 \times 10^{-6}$  ед. СИ.

\*С первичными экспериментальными петро- и палеомагнитными данными можно ознакомиться в Приложении 1 электронной версии статьи: <http://itig.as.khb.ru/POG>.



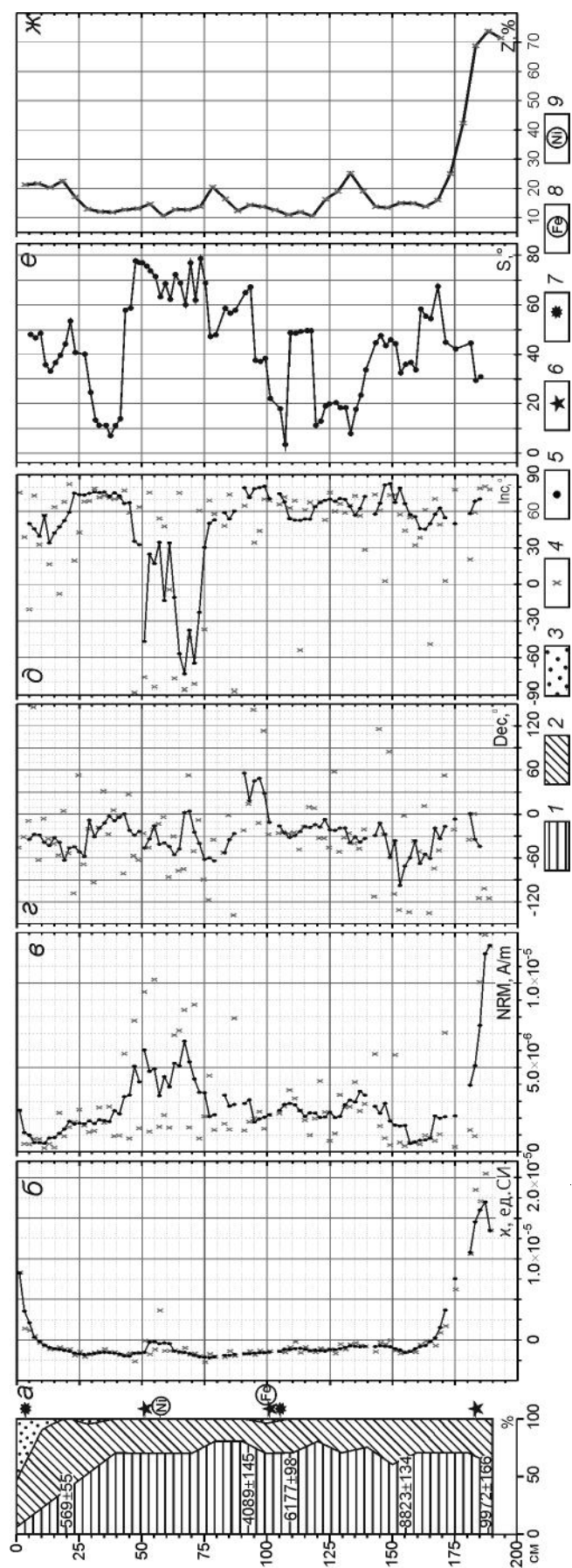
**Рис. 2.** Возраст торфяного разреза «Кия».

1 – датировки по  $^{14}\text{C}$  торфа с доверительными интервалами; 2 – линейная аппроксимация возраста торфа от глубины; 3 – аппроксимация возраста торфа от глубины полиномом 3-й степени.

Положительные значения  $\chi$  ( $1.11 \times 10^{-5}$  ед. СИ) в базальном горизонте (170–190 см) связаны, с большой вероятностью, с нахождением здесь частиц глинистого минерального материала из подстилающих пород. Повышенные значения  $\chi$  ( $2.13 \times 10^{-6}$  ед. СИ) в кровле торфяного разреза (горизонт 0–10 см) могут быть обусловлены либо техногенным воздействием при первичном освоении торфяника «Кия» в конце XX–начале XXI веков, либо наличием в поверхностном слое магнитных минералов, связанных с падением Сихотэ-Алиньского метеорита в 1947 г. в 200 км юго-юго-западнее от изученного разреза.

В ходе исследований установлен еще горизонт с повышенным значением  $\chi$  – 50–60 см (рис. 3, б). Как показали микрондзовые исследования, он связан с присутствием здесь магнетитовых сферул, а также частиц Ni (рис. 4, г, д), вероятно, космического происхождения.

На рисунке 3, в, отражающем изменения по глубине разреза величины NRM образцов, можно выделить два горизонта с повышенными значениями. Средняя величина NRM изученных торфяников, за исключением двух указанных выше горизонтов, составляет  $2.02 \times 10^{-6}$  А/м. Высокие значения NRM ( $7.49 \times 10^{-6}$  А/м) в базальном горизонте (180–190 см) связаны, по всей вероятности, с присутствием глинистого материала в подстилающей части разреза, о чем указывалось выше для объяснения высоких здесь же значений  $\chi$ . Повышенные значения NRM ( $4.49 \times 10^{-6}$  А/м) в горизонте 40–75 см хорошо согласуются с повышенными значениями  $\chi$  в интервале 50–60 см.



На рисунках 3, з и 3, д представлено поведение склонения (Dec) и наклоения (Inc) NRM по глубине разреза. Измеряя полный вектор естественной остаточной намагниченности образцов, мы не ставили задачу проследить поведение угловых элементов NRM во времени, но оказалось, что их поведение весьма закономерно, и положение аномального по направлению участка в этой записи можно объяснить влиянием геомагнитного экскурса.

Вариация значений Dec по разрезу весьма велика – от  $-130$  до  $+130^\circ$ . При осреднении методом скользящего среднего (осреднение проводилось по 5-ти точкам полного вектора единичных NRM) она существенно снизилась, флуктуации Dec стали составлять  $60-90^\circ$  вокруг среднего значения  $-30^\circ$  (рис. 3, з). Каких-либо существенных аномальных участков на зависимости «Dec-глубина» не отмечается.

Иная картина наблюдается в поведении Inc по разрезу. Здесь на фоне преобладающих положительных наклоений отчетливо проявляется участок с отрицательными наклоениями в горизонте 50–75 см (рис. 3, д). Средние значения Inc остаточной намагниченности образцов торфяников ниже и выше этого горизонта составляют  $67.8^\circ$  и  $62.7^\circ$ , соответственно. Среднее значение Inc остаточной намагниченности в горизонте 50–75 см составляет  $-26.5^\circ$ , причем поведение наклоения здесь не монотонное, а с существенными вариациями (рис. 3, д, табл. 2), что свойственно поведению геомагнитного поля во время экскурсов [10].

Основываясь на имеющихся датировках изученного разреза (табл. 1, рис. 2), можно утверждать, что торф горизонта 50–75 см формировался в интервале времени от 2800 до 1500 калиброванных лет назад. Это не означает, что и естественная остаточная намагниченность была создана в образцах из этого слоя в это же время. Ориентировка в торфе магнитных частиц по направлению геомагнитного поля, в основном

**Рис. 3.** Характеристика торфяного разреза «Кия».

*a* – разрез торфяника, по [1], с указанием возраста пяти слоев; *б–е* – зависимости петро- и палеомагнитных характеристик торфяных отложений от глубины: *ж* (*б*), NRM (*в*), Dec (*з*), Inc (*д*), *S* (стандартное отклонение в распределении направлений единичных векторов естественной остаточной намагниченности относительно среднего значения) (*е*); *ж* – зольность торфа (*Z*). Растительные остатки (1–3): 1 – древесные и кустарничковые, 2 – травянистые, 3 – моховые; 4 – исходные значения петро- и палеомагнитных характеристик; 5 – сглаженные методом скользящего среднего по 5-ти точкам значения петро- и палеомагнитных характеристик; 6–9 – зафиксированные в результате микрозондового анализа частицы (см. рис. 4): 6 – магнетитовые сферулы, 7 – углеродные сферулы, 8 – самородное железо, 9 – никель.

**Таблица 2.** Статистические параметры сходимости направлений NRM торфяников разреза «Кня» на разных временных (глубинных) интервалах.

Интервал разреза, см	Dec, °	Inc, °	K	$a_{95}$ , °	S, °
0–20	326.7	45.8	4	22.1	40.5
25–45	337.2	75.7	11.4	12.4	23.9
0–50	328.7	62.7	3.9	14.0	41.0
50–75	323.1	-26.5	~1.4	33.0	68.5
75–190	329.2	67.8	4.4	9.4	38.6
0–190	328.2	61.8	~2.9	8.8	47.6

*Примечание.* Параметры NRM (Dec, Inc) даны в географической системе координат,  $S = 81/K^{1/2}$  [8] – стандартное отклонение, Dec, Inc – величины склонения и наклонения намагниченности, соответственно, K – кучность распределения намагниченности,  $a_{95}$  – овал доверия 95 % вектора намагниченности.

по наклонению, требует некоторого времени, то есть мы имеем дело с постоориентационной намагниченностью. Вероятно, с этой задержкой связана отчетливо проявленная различная степень сходимости направлений NRM, особенно по наклонению, для образцов торфа горизонтов 25–45 и 0–20 см. Для направлений NRM образцов интервала 25–45 см кучность существенно выше, чем для направлений NRM образцов интервала 0–20 см (табл. 2, рис. 3, з, д).

Среднее значение величины Inc образцов стабильных участков изученного разреза сопоставимо с ожидаемой величиной Inc ( $63.7^\circ$ ) в месте отбора проб (табл. 2). Однако стоит отметить, что средние значения Dec образцов стабильных участков разреза существенно отличаются от направления на север (табл. 2). Вероятно, изученный временной диапазон в 10 000 лет не позволяет исключить все вариации геомагнитного поля, для этого требуется не менее 100 000 лет [19].

#### Микрозондовые исследования

На сканирующем (растровом) электронном микроскопе VEGA3 LMN (Tescan, Чехия), оснащенный энергодисперсионным спектрометром X-Max 80 с системой микроанализа Aztec™ (Oxford Instruments, Великобритания), было изучено 12 образцов торфа.

В ходе выполнения микрозондовых исследований установлено, что магнитными минералами в изученных образцах торфа являются обломочные частицы титаномагнетитового и гематитового рядов (рис. 4, б, в). Размер установленных магнитных частиц различается на два порядка – от 2 до 200 мкм. Кроме магнитных минералов в изученных образцах обнаружены частицы кварца (в т.ч. кварц «трубчатой» формы), циркона, полевого шпата, редкоземельных элементов и платины.

Помимо терригенных магнитных минералов в горизонтах 51 см, 101 см, 183 см установлено наличие магнетитовых сферул размером от 6 до 14 мкм (вероятно космического происхождения) (рис. 4, з, е, и). В горизонтах 3 см, 105 см обнаружены сферические формы углерода размером от 2.53 до 2.81 мкм (рис. 4, а, з), природа образования которых не установлена (возможно, космического происхождения). Также в горизонте 101 см обнаружены частицы самородного Fe (рис. 4, ж), а в образце 28 (горизонт 55 см), в котором наблюдается «всплеск» магнитной восприимчивости ( $\chi = 1.02E-05$  ед. СИ) (рис. 3, б), обнаружена частица Ni (рис. 4, д).

В местах обнаружения сферул и самородных частиц (глубины 50–55 см и 100–105 см), за исключением подстилающего горизонта (170–190 см), колебания величины зольности не превышают 4 % (рис. 3, ж), что может быть объяснено для торфяника переходного типа естественными причинами развития и свидетельствует об отсутствии в данный период наводнений и сильных пожаров. Высокие колебания зольности в подстилающем горизонте (170–190 см) связаны, по всей вероятности, с присутствием глинистого материала.

#### Геохимические исследования\*

Для дополнительной оценки вклада космического материала в вещественный состав торфа были проведены геохимические исследования. Всего было исследовано 20 образцов торфа, характеризующих весь изученный разрез по глубине (приложение № 2).

В ходе исследований было установлено, что характер распределения химических элементов в изученном разрезе торфяника различен и может быть предварительно разделен на пять групп:

1) к первой группе относятся элементы, концентрация которых уменьшается с глубиной разреза. К таким элементам относятся: P (рис. 5, е), Cu, Pb, Hg, Th. Коэффициент корреляции зависимости «концентрация–глубина» ( $r$ ) составляет от -0.47 до -0.64;

2) ко второй группе относятся элементы, концентрация которых увеличивается с глубиной разреза: Sc, Fe, Co (рис. 5, д), Sr, Cd, Ba, Ta, W, Tl. Коэффициент корреляции для данной группы элементов колеблется от 0.3 до 0.83.

Стоит отметить, что  $r$  для образцов первой и второй группы увеличивается на 5–20 %, если в расчете не учитывать результаты анализов образцов торфа из верхнего «антропогенного» слоя торфяников

\*С первичными результатами геохимических исследований можно ознакомиться в Приложении 2 электронной версии статьи: <http://itig.as.khb.ru/POG>.

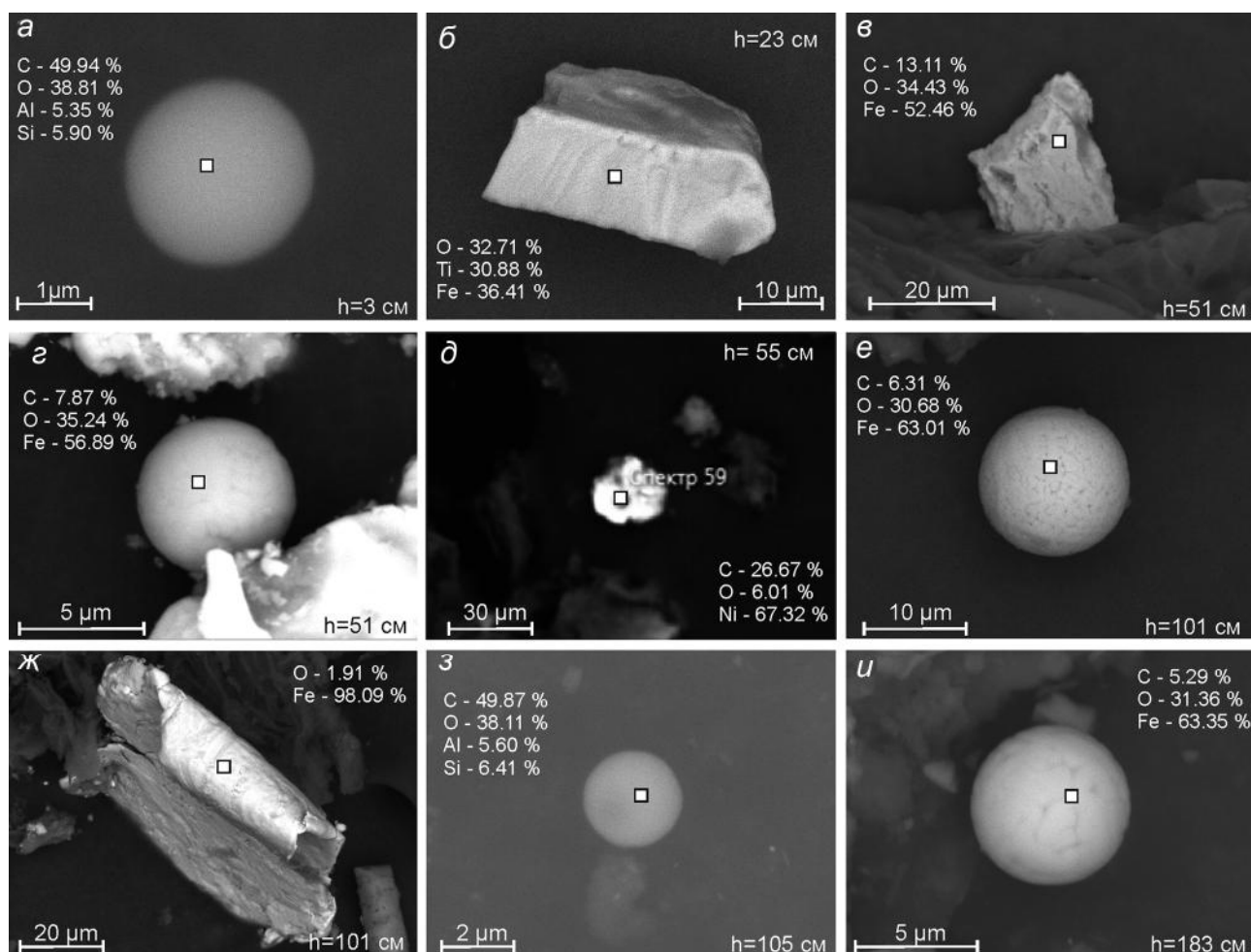


Рис. 4. Результаты микрозондового анализа.

Состав минералов дан в весовых процентах; h – глубина по разрезу; белым квадратом показана точка микрозондового анализа.

(0–20 см). Рассчитанные коэффициенты корреляции приведены в приложении № 2;

3) для элементов третьей группы концентрация с глубиной разреза практически не меняется. Однако в интервале 75–100 см наблюдается увеличение в 2–2.5 раза концентрации данных элементов, к которым относятся Se, Zn, Bi и Ni (рис. 5, б–г);

4) для четвертой группы элементов в сопоставимом по глубине интервале (30–90 см), в отличие от предыдущего случая, наблюдается уменьшение концентрации в 1.5–3 раза. К элементам четвертой группы относятся: Rb, Y, Mo, Ce, Nd, Sm, Eu (рис. 5, ж), Cd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb (рис. 5 з), Lu.

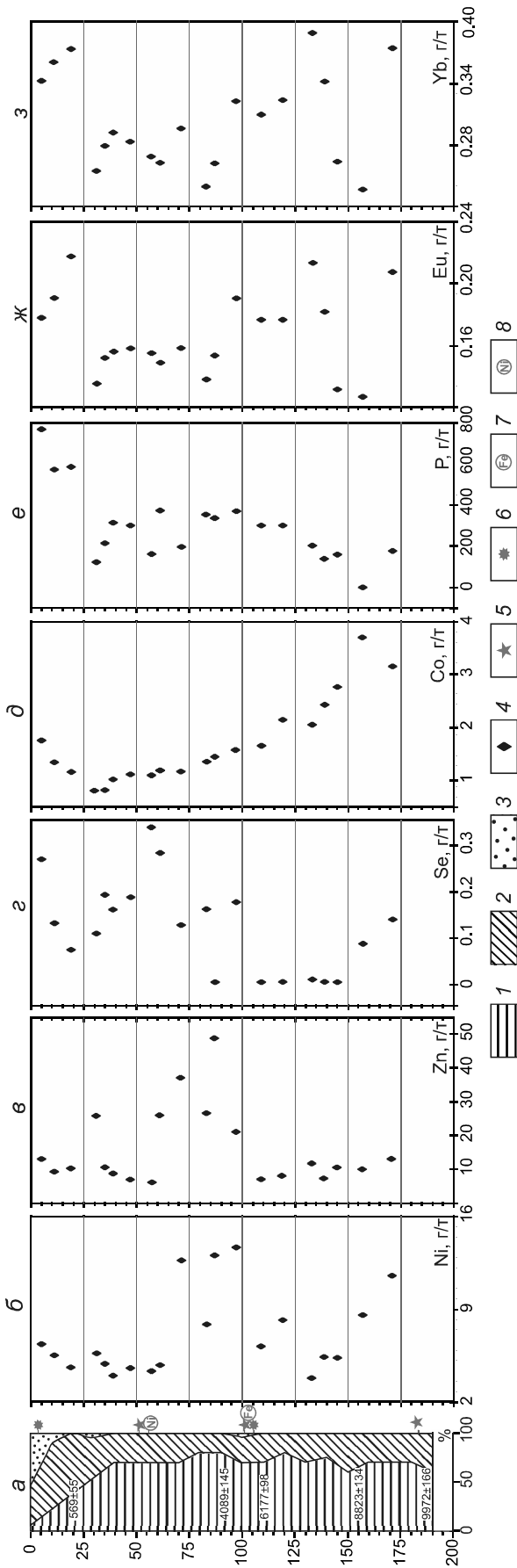
5) пятая группа элементов (Be, B, V, Cr, Ga, Ge, Zr, Nb, Ag, Sn, Sb, Cs, La, Pr, Lu, Hf) имеет незначительные колебания концентрации по всему разрезу ( $r = 0.07–0.26$ ). Интервалов с повышенными значениями, схожих по глубине с группами 3 и 4, не наблюдается. Однако в «антропогенном» (0–20 см) и базаль-

ном (170–190 см) горизонтах наблюдается увеличение концентрации B, Zr, Nb, Hf.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обсуждение полученных результатов петромагнитных, палеомагнитных, микрозондовых и геохимических исследований торфа представляется логичным разделить на две части. Первая часть будет касаться выделенного в торфяном разрезе интервала с отрицательными значениями наклонения вектора NRM, вторая – присутствия в изученных образцах торфа частиц космического происхождения.

Согласно данным [21], около 2700–2500 лет назад произошел экскурс геомагнитного поля Земли «Этруссия» или «Стерно-Этруссия» (рис. 6, б). 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.). Время проявления и длительность экскурса оцениваются неоднозначно, например, по данным [3] он имел место в интервале 3000–2300 лет назад.

Важно отметить, что существует связь между экскурсами геомагнитного поля и климатом на Земле. В работе [21] отмечено, что экскурс «Этруссия» происходил одновременно с глубоким минимумом солнечной активности. Как следствие, в это время увеличилась зональная циркуляция и облачность, что привело к похолоданию климата. Похолодание климата в интервале 2000–3000 лет назад также фиксируется по результатам изучения изотопа кислорода в осадочных породах Израиля [27] (рис. 6, з). Данный интервал похолодания установлен различными методами во многих регионах планеты – Восток Азии, Европа, Африка, Северная Америка и др. [1, 18 и др.]. Более того, данные о похолодании около 2500 лет назад получены и по результатам ботанических исследований изученного в настоящей работе торфяника из разреза «Кия» [1].

В это же время отмечается постепенное уменьшение напряженности геомагнитного поля Земли (рис. 6, в), что, в свою очередь, характерно при экскурсах геомагнитного поля [10].

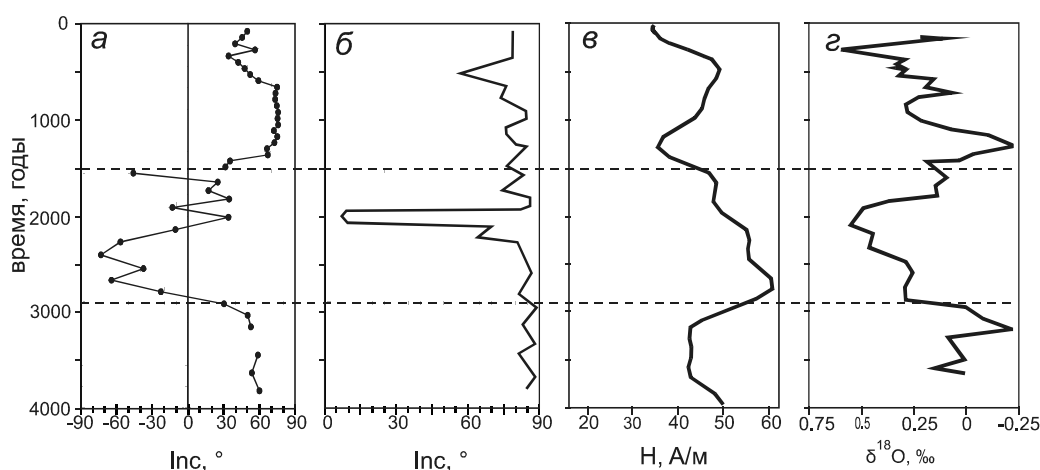
Как отмечалось выше, в ходе палеомагнитных исследований образцов торфа из разреза «Кия» был установлен интервал (50–75 см) с отрицательными значениями  $I_{nc}$  (рис. 6, а). Возраст подошвы и кровли выделенного интервала, согласно имеющимся датировкам, можно оценить в 2800 и 1500 калиброванных лет, соответственно (рис. 2), то есть, согласно нашим данным, продолжительность экскурса Этруссия могла быть более 1000 лет. Отметим, что наши оценки лучше согласуются с данными по вариациям напряженности геомагнитного поля и  $\delta^{18}O$  (рис. 6). Безусловно, оценка временных рамок экскурса требует дальнейшего изучения.

Полагаем, что торфяные отложения могут быть успешно использованы в качестве объектов для палеомагнитных исследований – в изученном разрезе торфа выделен интервал с записью экскурса геомагнитного поля «Этруссия». Стоит отметить, что примеров определения экскурсов геомагнитного поля в торфяных отложениях, как и, собственно, примеров

**Рис. 5.** Зависимость концентрации некоторых химических элементов в торфяном разрезе «Кия» от глубины.

а – разрез торфа, по [1]; б–з – зависимости величин концентраций Ni (б), Zn (в), Se (з), Co (д), P (е), Eu (ж), Yb (з) от глубины залегания изученного торфяника. Условные обозначения см. рис. 3.





**Рис. 6.** Сопоставление записей экскурса «Этруссия», полученных (а) в настоящей работе и (б) в работе [21] с вариациями (в) напряженности геомагнитного поля [6] и (з)  $\delta^{18}\text{O}$  [27] за последние 4000 лет.

палеомагнитных исследований торфяников в зарубежной и отечественной литературе нами не найдено.

Вторая часть этого раздела, как упоминалось выше, будет посвящена найденным в торфе космическим частицам. В изученном торфянике выделяется интервал (51–105 см) с повышенными концентрациями Ni, Zn, Bi, Se. В подошве данного слоя (100–105 см) найдены углеродные и магнетитовые сферулы, а также частицы самородного железа (рис. 3). В кровле найдена частица никеля (в этом же образце зафиксирован «всплеск» и), а также магнетитовая сферула. Возраст подошвы и кровли, согласно имеющимся радиоуглеродным датировкам (рис. 2), составляет 5500 и 1600 калиброванных лет, соответственно.

В вулканических породах также известны находки магнетитовых сферул [12]. Обнаруженные нами микросферулы в торфе (6–14 мкм) на порядок меньше самой мелкой, обнаруженной в вулканических породах Камчатки и Курильских островов (0.1–3.0 мм) [12]. Помимо этого, углеродные сферулы в вулканических породах не выявлены, а именно сочетание самородных частиц, а также микросферул различного состава может служить индикатором импактных событий [9, 15 и др.].

Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что  $\approx 5500$  и  $1600$  лет назад произошли импактные события, которые были запечатлены в изученном торфянике.

Близким по времени (1000–1600 лет назад) и месту импактным событием, которое могло быть запечатлено в кровле выделенного слоя, является Мульдайсский метеорит. Кратер расположен в отрогах Гази-

мурского хребта, в 1200 км к западу от места отбора проб ( $52.23^\circ$  с.ш.,  $119.28^\circ$  в.д.). При этом возможно, не нашедшее отражение в мировой базе данных импактных событий (Expert Database on Earth Impact Structures [24]).

В таблице 3 и на рисунке 1 приведены импактные события, произошедшие, согласно [24], в интервале от 4500 до 7500 лет назад. Одно из этих событий, возможно, записано в подошве выделенного слоя торфа с возрастом около 5500 лет. Далее будет дано описание каждого из них.

Кратер Брукле имеет диаметр 29 км, находится в Индийском океане на глубине около 4500 м и практически не покрыт донными осадками, что указывает на его относительно молодой возраст (около 4800 лет). Исходя из размеров кратера, он мог возникнуть как результат падения кометы с ядром диаметром примерно в 1 км [17, 25].

Кратер Снеллинг расположен в северо-западной части Австралии и имеет диаметр 29 м. Предположительно возраст кратера оценивается в 5000 лет [23].

Ударные кратеры Илумеца были обнаружены в 1938 году в ходе геологосъемочных работ на территории Эстонии. Самый большой кратер имеет диаметр 75–80 м и глубину 12.5 м. Данные радиоуглеродного датирования свидетельствуют о том, что кратеры Илумеца образовались около 6600 лет назад [26].

Метеоритный кратер Мача расположен в Якутии, примерно в 150 км к западу от п. Олекминск. Кратер имеет диаметр 300 м. Возраст кратера оценивается в  $\approx 7000$  лет [2, 20].

Таблица 3. Характеристика импактных событий, произошедших за период 4500–7500 лет назад [24].

№ п/п	Название структуры	V	Широта, °	Долгота, °	d, км	h, м	Возраст, тыс. лет	Ссылки
1	Буркле (Burckle)	3	-30.87	61.37	29		4.8	[17]
2	Снеллинг (Snelling)	2	-19.35	127.77	0.03		5	[23]
3	Илумецца (Ilumetsa)	4	57.96	27.40	0.08	12.5	6.6	[26]
4	Мача (Macha)	4	60.08	117.65	0.30	40	7.315	[2, 20]
							< 7.0	
5	Тай Ху (Tai Hu)	3	31.20	120.27	70	2	≥ 4.5	[28]

Примечание. V – надежность определения события (0 – минимальная, 4 – максимальная), d – диаметр кратера, h – глубина кратера.

Озеро Тай Ху – это большое озеро на равнине дельты Янцзы (КНР). Исследования показывают, что круговая структура озера Тай Ху является результатом удара метеорита. Именно этим импактным событием объясняется таинственное исчезновение культуры Лян-Чу около 4500 лет назад [28].

Одно или несколько из вышеперечисленных импактных событий (табл. 3, рис. 1) могли стать источником повышенного содержания космических частиц в изученном слое торфа возрастом около 5000 лет. Стоит отметить, что при изучении торфяных отложений в Кемеровской области В.А. Цельмовичем с соавторами были найдены свидетельства достаточно крупного импактного события – резкое увеличение содержания космического вещества в слое торфа с таким же возрастом: «Наиболее значительный всплеск поступления космогенного вещества (на порядок выше фона) зафиксирован в горизонте, образовавшемся около 5000 лет тому назад» [15].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований торфяных отложений разреза «Кия» впервые показано, что торфяники могут быть использованы в качестве объектов для палеомагнитных исследований.

В горизонте торфа 50–75 см установлены отрицательные значения величины наклона вектора естественной остаточной намагниченности. В данном горизонте установлена запись экскурса геомагнитного поля «Этруссия», который произошел 2800–1500 лет назад. В это же время на Земле происходило похолодание климата и существенные вариации напряженности геомагнитного поля.

В изученном торфянике выделяется интервал (50–105 см), в подошве и кровле которого присутствуют частицы космического происхождения. В этом же интервале установлен слой (50–75 см) с повышенными значениями Ni, Zn, Se, Bi. Полученные данные свидетельствуют о наличии следов как минимум двух импактных событий, произошедших около 1600 и 5500 лет назад.

Авторы выражают благодарность рецензентам П.С. Минюку и В.А. Цельмовичу, замечания и предложения которых были учтены при подготовке окончательной версии статьи. Авторы благодарны Е.Ю. Диденко и О.М. Меньшиковой за помощь при техническом оформлении рукописи, а также С.В. Буре за помощь при проведении полевых работ.

Исследования выполнены при поддержке проектов Министерства образования и науки Хабаровского края №112/2018Д и № 25С/2019.

#### 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. Гуров Е.П., Гурова Е.П., Ковалюх Н.Н. Группа метеоритных кратеров Мача в Западной Якутии // Докл. АН СССР. 1987. Т. 296, № 1. С. 185–188.
3. Гуськова Е.Г., Распопов О.М., Пискарев А.Л., Дергачев В.А. Проявление экскурса геомагнитного поля Гетенбург в донных осадках Баренцева моря // Геомагнетизм и аэрономия. 2007. Т. 47, № 6. С. 825–830.
4. Диденко А.Н., Ли Юн-фей, Песков А.Ю., Сунь Шоу-лян, Каретников А.С., Чжоу Юн-хэн. Закрытие Солонкерского бассейна: палеомагнетизм формаций Линьси и Синфучжилу (Внутренняя Монголия, Китай) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, № 5. С. 3–23.
5. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. М., 2005. 28 с.
6. Начасова И.Е., Бураков К.С., Бернабеу Х. Вариации напряженности геомагнитного поля в Испании // Физика Земли. 2002. № 5. С. 24–29.
7. Песков А.Ю., Диденко А.Н., Гурьянов В.А. Эволюция палеопротерозойского мафит-ультрамафитового магматизма Кун-Маньенского рудного поля (Алдано-Становой щит) по палеомагнитным данным // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 5. С. 3–16.
8. Печерский Д.М. Геомагнитное поле на границах палеозоя/ мезозоя, мезозоя/кайнозоя и нижнемантийные плюмы // Физика Земли. 2007. № 10. С. 49–59.
9. Печерский Д.М., Кузина Д.М., Нурғалиев Д.К., Цельмович В.А. Единая природа самородного железа в земных породах и метеоритах. Результаты микронзондового и терромаг-

- нитного анализов // Физика Земли. 2015. № 5. С. 140–155.
10. Поспелова Г.А. О геомагнитных экскурсах // Физика Земли. 2002. № 5. С. 30–41.
  11. Прозоров Ю.С. Закономерности развития, классификация и использование болотных биогеоценозов. М.: Наука, 1961. 123 с.
  12. Сандмирова Е.И., Главатских С.Ф., Рычагов С.Н. Магнитные сферулы из вулканических пород Курильских островов и Южной Камчатки // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 135–139.
  13. Цельмович В.А., Куражковский А.Ю., Бляхарчук Т.А. Всплесковые изменения поступления космогенного вещества в торфяные отложения болота «Тундра» // Труды Всерос. ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЕСЭМПГ-2017) 18–19 апреля 2017 г. М.: ГЕОХИ РАН, 2017. С. 258–261.
  14. Цельмович В.А., Куражковский А.Ю., Бляхарчук Т.А. Космогенное вещество в торфяных отложениях болота «Тундра» Кемеровской области: Всерос. ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии (ВЕСЭМПГ-2017) 18–19 апреля 2017 г.: Тезисы докладов. М.: ГЕОХИ РАН, 2017. С. 124.
  15. Цельмович В.А., Куражковский А.Ю., Казанский А.Ю., Щетников А.А., Бляхарчук Т.А., Филиппов Д.А. Исследования динамики поступления космической пыли на земную поверхность по торфяным отложениям // Физика Земли. 2019. № 3. С. 15–23.
  16. Чаков В.В., Завгородько В.Н. Торфяные ресурсы Приамурья и их использование в пелоидотерапии. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2008. 128 с.
  17. Abbott D., Martos S., Elkinton H., Bryant E.F., Gusiakov V., Breger D. Impact craters as sources of mega-tsunami generated chevron dunes / Geol. Soc. Am. Abstr. with Programs. 2006. V. 38, N 7. P. 299.
  18. Barber K., Langdon P. Testing the paleoclimatic signal from peat bogs – temperature or precipitation forcing? / ESF-HOLIVAR International Conference: Past climate variability through Europe and Africa. Abstr. 2001. P. 58.
  19. Butler R.F. Paleomagnetism: magnetic domains to geologic terranes / Boston: Blackwell Sci. Publ., 1992. 319 p.
  20. Collins G.S., Artemieva N., Wunnemann K., Bland P.A., Reimold W.U., Koeberl C. Comment article Evidence that Lake Cheko is not an impact crater // Terra Nova. 2008. V. 20. P. 165–168.
  21. 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, N 2. P. 661–681.
  22. Gardner C.S., Liu A.Z., Marsh D.R., Feng W., Plane J.M. Inferring the global cosmic dust influx to the Earth’s atmosphere from lidar observations of the vertical flux of mesospheric // Na. J. Geophys. Res.: Space Physics. 2014. V. 119. P. 7870–7879.
  23. Glikson A.Y. Mega-impacts and mantle melting episodes: Tests of possible correlations // Australian Geol. Surv. Organization J. Australian Geol. and Geophys. 1996. V. 16, N 4. P. 587–608.
  24. Lyapidevskaya Z.A., Gusiakov V.K., Amelin I.I. Webmaster: Zinovev P.S. Expert Database on Earth Impact Structures (EDEIS) / <http://tsun.ssc.ru/nh/impact.php>.
  25. Masse W., Bryant E., Gusiakov V., Abbott D., Rambolamana G., Raza H., Courty M., Breger D., Gerard-Little P., Burckle L. Holocene Indian Ocean cosmic impacts: The Megatsunami chevron evidence from Madagascar / AGU Fall Meeting Abstr. – 1. 2006. P. 1244.
  26. Raukas A., Tiirmaa R., Kaup E., Kimmel K. The age of the Lumetsa meteorite craters in southeast Estonia // Meteoritics & Planet. Sci. 2001. V. 36, N 11. P. 1507–1514.
  27. 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.
  28. Xie Z., Wang H., Sharp T., Decarli P. New evidence for an impact origin of Taihu lake, China: Possible trigger of the extinction of LiangChu culture 4500 years ago / Am. Geophys. Union, Fall Meeting. Abstr. 2008. P. 7.

Рекомендована к печати А.А. Сорокиным

после доработки 17.07.2019 г.

принята к печати 13.11.2019 г.

*A.Yu. Peskov, V.O. Krutikova, E.N. Zakharchenko, V.V. Chakov, M.A. Klimin, A.S. Karetnikov, A.N. Didenko*

### **Geochemistry and Magnetism of Peat Deposits between the Khor and Kiya Rivers, Sikhote-Alin (Tentative Analysis)**

The paper presents the results of geochemical, microprobe, petro- and paleomagnetic studies of the section through peat deposits in the Khor-Kiya interfluvium (Khabarovsk krai), which has formed over the past 10 000 years. A horizon (75–100 cm) with elevated concentrations of Ni, Zn, Bi, and Se was distinguished as a result of multi-method research. Magnetite and carbon spherules, as well as native iron found at the bottom of the horizon suggest an impact event that occurred about 5500 years ago. For the first time peat deposits are shown to be used as a target of paleomagnetic research: in the horizon at a depth of 50 to 75 cm, a distinct variation in the inclination of the remanent magnetization vector is established, which corresponds in time to the “Etrussia” geomagnetic excursion (2500 years ago).

**Key words:** geochemistry, magmatism, peat, cosmic particles, excursion, geomagnetic excursion, Sikhote-Alin.