

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Золотовой Надежды Валерьевны
на диссертацию Сальной Натальи Викторовны на тему
«Эволюция напряженности геомагнитного поля на территории
Европейской части России во втором тысячелетии нашей эры»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.6.9 Геофизика

В диссертации Н.В. Сальной методами археомагнитных исследований проведен большой спектр работ по реконструкции геомагнитного поля. Разработан высокотемпературный протокол Телье-Коз-Триахс для определения палеонапряженности групп фрагментов обожженных кирпичей из архитектурных и археологических памятников Новгородской (85 фрагментов), Ярославской (55 фрагментов), Московской (37 фрагментов) областей и др. Собран набор критериев качества, которым должны удовлетворять полученные определения напряженности магнитного поля по историческим образцам. Проведено исследование влияния анизотропии и скорости создания лабораторной термоостаточной намагниченности на величину реконструируемого поля. Рассчитаны величины палеонапряженности и виртуального аксиального дипольного момента для Европейской части России с XII по XIX век, проведено сравнение с реконструкциями поля Европы, данными современных измерений и планетарными моделями геомагнитного поля.

Актуальность темы диссертации

Восстановление эволюции геомагнитного поля в исторической ретроспективе на многие столетия и тысячелетия является сложной, кропотливой и трудозатратной фундаментальной задачей геофизики, требующей вовлечения геологических, археологических, минералогических и других исследований. В отличие от звезд солнечного типа, где генерация магнитного поля происходит в приповерхностном конвективном слое, и инверсия поля происходит относительно быстро и регулярно, на Земле такие процессы происходят гораздо глубже, на границе ядро-мантия, а переполюсовка случается стохастически через десятки тысяч или миллионов лет. Звездное и земное гидромагнитное динамо, по сути, близки и основаны на предположении, что проводящая жидкость во вращающемся теле может, благодаря индуктивному действию, вызванному ее протеканием через магнитное поле, генерировать токи, требуемые для поддержания этого магнитного поля. В течение солнечного цикла ни аксиальная, ни экваториальная компоненты магнитного диполя полностью не обращаются в ноль, а смену полярности можно представить как изменение наклона диполя. Благодаря тому, что аксиальная и экваториальная компоненты меняются в противофазе, магнитное поле Солнца никогда не исчезает, а направление диполя определяется доминирующей компонентой. Вопрос насколько схожим и катастрофическим может быть процесс инверсии земного диполя является актуальным направлением геомагнитных исследований.

Новизна научного исследования и результатов

В продолжение предыдущего пункта отмечу, что в задаче реконструкции динамики ориентации (склонения и наклонения) и напряженности геомагнитного поля в представленной диссертационной работе сделан еще один важный шаг. Получены новые определения палеонапряженности и рассчитаны значения виртуального аксиального дипольного момента на территории Европейской части России, начиная с XII века н.э. Значительная часть новых данных покрывает период XII–XV веков, который до этого фактически оставался пустой страницей археоманитологии.

Достоверность полученных результатов

Работа основана на значениях палеонапряженности, измеренных по протоколам Триакс и Телье-Коэ-Триакс. В первом случае были проведены эксперименты по исследованию зависимости лабораторной термоостаточной намагниченности от скорости ее создания. Во втором случае для подтверждения надежности полученных данных были проведены эксперименты с учетом анизотропии термоостаточной намагниченности. Кроме того, разработанный протокол Телье-Коэ-Триакс снижает риск возникновения магнитоминералогических изменений образца. Помимо этого, для оценки достоверности полученных определений палеонапряженности была разработана строгая система оценки качества по десяти показателям. Разработанная многоуровневая система проверки обеспечивает достоверность защищаемых положений диссертации.

Все основные результаты прошли апробацию на научных конференциях и опубликованы в рецензируемых изданиях из списка ВАК. Реконструкции виртуального аксиального дипольного момента Европейской части России согласуются с выводами других исследователей и планетарными моделями геомагнитного поля в рамках погрешностей.

Практическая ценность

Диссертационная работа, помимо ее прямой востребованности в области геофизики и археоманитологии для восполнения дефицита знаний о пространственно-временной структуре и динамике геомагнитного поля также имеет немалое значение для исследований солнечно-земных связей. Содержания изотопов ^{10}Be и ^{14}C в полярных льдах и кольцах деревьев служат уникальным банком природных палеоданных. Изотопы образуются в атмосфере Земли под действием галактических космических лучей и модулируются солнечной активностью и геомагнитным полем. Таким образом, для реконструкции полного солнечного излучения и его воздействия на климат на вековых масштабах необходимо знание как солнечной, так и геомагнитной составляющих.

Перейду к **содержанию** защищаемой диссертации. Работа объемом 210 страниц состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 276-ти наименований и приложения с расчетом направлений естественной остаточной намагниченности и термоостаточной намагниченности по археоманитным группам. В период 2014–2020 гг. работа прошла апробацию более чем на 10 конференциях международного и всероссийского уровня. По материалам работы опубликовано шесть статей в рецензируемых журналах из перечня РИНЦ, четыре из которых входят в перечень

рецензируемых изданий ВАК. В трех публикациях Наталья Сальная является первым автором.

Во **введении** отражены все необходимые вводные данные, такие как актуальность темы, цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, их научная новизна, практическая значимость и степень достоверности, личный вклад автора, апробация, список публикаций.

В **первой главе** даны историческая ретроспектива и современное состояние археомагнитных исследований, отражена роль советской школы. Рассказано о базах данных, существующих региональных опорных кривых геомагнитного поля, методике расчета виртуального дипольного момента, планетарных моделях. Рассказано о роли археомагнитных исследований в археологических задачах и в изучении солнечно-земных связей. Приведены примеры работы метода датирования и метода определения условий обжига артефактов.

Вторая глава посвящена методам изучения эволюции геомагнитного поля в историческом или геологическом прошлом. Определены критерии отбора групп фрагментов архитектурных памятников для последующего анализа. Описаны методы, используемые для изучения магнитных свойств материала образцов, и протоколы определения напряженности геомагнитного поля, включая методы двойных ступенчатых нагревов и высокотемпературные протоколы. Расписана процедура эксперимента по протоколу Телье-Коэ-Триакс с учетом анизотропии термоостаточной намагниченности. Приведены количественные параметры качества определений палеонапряженности, рассказано о проверке парциальной остаточной намагниченности и проверке многодоменного состояния исследуемого материала. Рассмотрено как скорость создания лабораторной термоостаточной намагниченности влияет на напряженность восстанавливаемого геомагнитного поля. Дан сводный список десяти критериев качества, предъявляемых к полученным данным.

В **третьей главе** рассматриваются три археомагнитные коллекции и результаты экспериментов, полученные по протоколам Триакс и Телье-Коэ-Триакс. Сравниваются значения полученных определений, показано, что оба протокола дают статистически схожие результаты. Также дополнительно были проведены исследования по образцам Новгородской области и Татарстана, последние дают более высокие значения палеонапряженности, однако имеют проблемы с датировкой.

В **четвертой главе** проведен анализ полученных результатов. Обсуждаются магнитоминералогические свойства образцов и надежность определений палеонапряженности по Новгородской, Ярославской и Московской коллекциям. Проведено сращение полученных данных с результатами более ранних исследований геомагнитного поля Европейской части России. Показано, что с XII по XVI век геомагнитное поле было относительно стабильно, в то время как с XVII по XIX век началось падение напряженности. Полученная региональная кривая палеонапряженности сравнивается с современными измерениями в обсерваториях и с региональными кривыми Европы. Отмечается сходство с региональными кривыми Франции, Испании и Португалии, показано, что влияние недипольных источников незначительно. Сравнение региональной кривой по Европейской части

России и моделями также показало их сходство, хотя полученная в работе кривая систематически показывает меньшие значения, по сравнению с модельными.

Отмечу несколько вопросов и замечаний, появившихся в ходе прочтения диссертации:

- 1) Считаю, что четвертое защищаемое положение можно было бы объединить со вторым, добавив в него указание, что полученные оценки ниже по сравнению со значениями, предсказанными современными планетарными моделями геомагнитного поля;
- 2) Отмечу переизбыток повторяющихся ссылок на литературу, например:
 - а) ...в недавней работе (Korte et al., 2019)... «ослабленное» современное поле может восстановиться без смены полярности (Korte et al., 2019);
 - б) протокол Айткена (Aitken et al., 1988)... протокол Айткена (Aitken et al., 1988);
 - в) на диаграмме Араи-Нагаты (Nagata, Arai, Momose, 1963)... на диаграмме Араи-Нагаты (Nagata, Arai, Momose, 1963);
 - г) взяты общие критерии (Biggin, Paterson, 2014)... поскольку общие критерии (Biggin, Paterson, 2014)...
 - д) Возраст археомагнитных групп Новгородской коллекции определялся на основе имеющихся исторических свидетельств (Новгородская первая летопись...1950) и типологии глиняных кирпичей (Antipov, Gervais, 2015). ... точно датированных благодаря историческим свидетельствам (Новгородская первая летопись...1950) и типологии глиняных кирпичей (Antipov, Gervais, 2015)...
- 3) Растровое качество рисунков не позволяет разглядеть индексы и мелкие обозначения, также описания некоторых графиков (особенно диаграммы Араи-Нанаты и Зийдервельда) с результатами магнитоминералогических исследований главы 3 скупы, что затрудняет понимание. С другой стороны, диссертация и так превышает рекомендации ВАК по тексту;
- 4) Приложение А не содержит значений палеонапряженностей, на которые ссылаются в конце раздела 3.2.1, однако, содержит значения склонения и наклонения, методика расчета которых не указана. Здесь же, стр. 115–117 указано, что для группы DMIT01 средняя ошибка измерений по двум протоколам равна 0.6 мкТл, хотя по протоколу Телье-Коэ-Триакс она почти в два раза больше. Для образца PP01 среднее значение палеонапряженности по двум протоколам равно значению, полученному по протоколу Триакс, хотя Телье-Коэ-Триакс дает на 1.1 мкТл меньшее значение.
- 5) На региональной кривой (рис. 48) в 1550–1600 гг. есть небольшой всплеск дипольного момента, с чем он связан?

Переходя к оценке защищаемой диссертации, подчеркну огромный объем работы, выполненный диссертанткой, в результате которого построена первая региональная опорная кривая напряженности геомагнитного поля по Европейской территории России. Разработан большой комплекс проверок качества измеренных значений палеонапряженности поля. Отмечу интересный и полезный вывод о том, что в течение XVII – первой половины XVIII вв. отмечается резкий спад виртуального аксиального дипольного момента. Данная информация не должна остаться без внимания в задачах реконструкции солнечного излучения по палеомагнитным архивам.

Диссертация Сальной Натальи Викторовны на тему: «Эволюция напряженности геомагнитного поля на территории Европейской части России во втором тысячелетии нашей эры» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Сальная Наталья Викторовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9. Геофизика. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук, доцент СПбГУ

Золотова. Н.В.

23.09.2022



23-09-2022